



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

POKROČILÉ MODEL Y LOGISTIKY V OBLASTI ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ

ADVANCED LOGISTIC MODELS FOR WASTE MANAGEMENT

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. Jiří Gregor

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Prof. Ing. PETR STEHLÍK, CSc., dr. h. c..

BRNO 2019

ABSTRAKT

Smyslem a účelem předkládané disertační práce je připravit dopravní technicko-ekonomické modely, které budou schopny odhadnout dopravní cenu pro vybrané scénáře. Cílem je dokázat hodnotit komplexní dopravní řetězce v odpadovém hospodářství s využitím různého typu dopravy (silniční, železniční) a se zohledněním různého typu odpadu. Klíčové pro tvorbu technicko-ekonomických modelů je identifikace vstupních parametrů, které mají vliv na konečnou cenu dopravy. Současně je nutné korektně identifikovat zpracovatelská zařízení, která budou součástí komplexních dopravních řetězců. Celkové výstupy budou prezentovány ve formě případové studie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Technicko-ekonomický model, odpadové hospodářství, logistika, komplexní řetězec, tokový model, NERUDA

ABSTRACT

The purpose of the dissertation thesis is to prepare transport techno-economic models which will be able to estimate the transportation cost for selected scenarios. The main goal is to describe the complex transport chains in waste management, using different types of transportation (road, rail) and transport different types of waste. The key element of preparing techno-economic models is the identification of input parameters which are important for estimating the cost of transport. At the same time, it is necessary to correctly identify the processing facilities that will be part of complex transport chains. The total outputs will be presented in the form of a feasibility study.

KEY WORDS

Techno-Economic model, Waste Management, transportation, complex transportation chain, Flow Task Methodics, The NERUDA Tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GREGOR, J. Pokročilé modely logistiky v odpadovém hospodářství. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 180 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem dizertační práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Petra Stehlíka, CSc., dr. h. c., na základě vlastních poznatků získaných při studiu a konzultací s odborníky a že jsem veškeré literární a obrazové prameny správně a úplně citoval.

V Brně dne 20. 02. 2019

.....
Ing. Jiří Gregor

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu disertační práce prof. Ing. Petru Stehlíkovi, CSc., dr. h. c., za odborné vedení a zabezpečení mého studia, dále pak Ing. Martinu Pavlasovi, Ph.D. za konzultace, množství cenných rad a připomínek k aktivitám, které vedly k vypracování předkládané disertační práce.

Obsah

1	Úvod	15
2	Motivace	17
2.1	<i>Legislativa jako trendový nástroj v odpadovém hospodářství</i>	<i>19</i>
2.2	<i>Cíl disertační práce</i>	<i>21</i>
2.3	<i>Základní představení logistických úloh</i>	<i>22</i>
2.4	<i>Očekávaná koncepce výstupů disertační práce</i>	<i>24</i>
3	Přípravná fáze tvorby TE modelů	28
3.1	<i>Legislativní rámec silniční dopravy</i>	<i>28</i>
3.2	<i>Rešerše.....</i>	<i>31</i>
3.3	<i>Stanovení rychlostních průměrů.....</i>	<i>33</i>
3.4	<i>Jednotkové operace sběru odpadu a další parametry ovlivňují průměrnou rychlost</i>	<i>36</i>
3.5	<i>Sypná hmotnost odpadů.....</i>	<i>39</i>
4	Komplexní dopravní systémy v odpadovém hospodářství	42
4.1	<i>Silniční doprava.....</i>	<i>42</i>
4.2	<i>Železniční doprava</i>	<i>43</i>
4.3	<i>Kombinovaná doprava</i>	<i>45</i>
4.4	<i>Zařízení pro zpracování odpadů.....</i>	<i>46</i>
5	Struktura a popis TE modelů v odpadovém hospodářství	47
5.1	<i>Základní ekonomické výstupy z TE modelů</i>	<i>48</i>
5.2	<i>Silniční doprava – Svozové systémy</i>	<i>50</i>
5.3	<i>Silniční doprava – Překládací stanice.....</i>	<i>56</i>
5.4	<i>Silniční doprava – Odvozové systémy a emisní model</i>	<i>63</i>
5.5	<i>Porovnání a ekonomická výhodnost systémů silniční dopravě</i>	<i>74</i>
5.6	<i>Železniční doprava</i>	<i>77</i>
6	Aplikace a využití TE modelů.....	94
6.1	<i>Případová studie č. 1: Vyhodnocení komplexního dopravního řetězce.....</i>	<i>94</i>
6.2	<i>Případová studie č. 2: Citlivostní analýzy a dopad na skladbu vozového parku</i>	<i>99</i>
6.3	<i>Případová studie č. 3: Vyhodnocení komplexních řetězců v odpadovém hospodářství s využitím prognostovacího nástroje JUSTINE</i>	<i>106</i>
7	Využití TE modelů dopravních systémů v komplexních výpočtových nástrojích	116
8	Závěr	120
9	Další rozvoj systému a TE modelů disertační práce	123
9.1	<i>Rozvoj železniční dopravy</i>	<i>123</i>
9.2	<i>Rozvoj lodní dopravy.....</i>	<i>123</i>
9.3	<i>Zpřesnění a rozvoj TE modelů zpracovatelských zařízení.....</i>	<i>126</i>

9.4	<i>Aktualizace stávajících dopravních TE modelů.....</i>	<i>127</i>
10	Akademické aktivity	128
10.1	<i>Publikace</i>	<i>128</i>
10.2	<i>Zapojení do výzkumných projektů</i>	<i>129</i>
10.3	<i>Edukační činnost.....</i>	<i>130</i>
10.4	<i>Aktivní účast na konferencích.....</i>	<i>132</i>
	Seznam použité literatury.....	133
	PŘÍLOHA	139

Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma cirkulární ekonomiky [2]	15
Obr. 2: Struktura vývoje nástroje NERUDA a dopravních nástrojů na ÚPI.....	18
Obr. 3: Hierarchie nakládání s odpady	19
Obr. 4: Motivace, odpadní toky pro energetické využití odpadních plastů v kontextu komplexního odpadového řetězce	21
Obr. 5: Hlavní vytyčené cíle a časový plán dizertační práce, stav k 12/2018	22
Obr. 6: Myšlenková mapa TE modelů.....	23
Obr. 7: Základní struktura výstupů z modelu	26
Obr. 8: Další výpočtové aplikace spolupracující s nástrojem WTP	27
Obr. 9: Průměrné rychlosti v jednotlivých obcích.....	35
Obr. 10: Ukázka výsledků z TE modelu pro podzemní kontejnery	38
Obr. 11: Metrotaifun, vakuový systém sběru odpadu [43].....	39
Obr. 12: Základní schéma silniční dopravy komunálních odpadů	42
Obr. 13: Základní schéma železniční dopravy	44
Obr. 14: Základní schéma kombinované dopravy	45
Obr. 15: Reálný pohled na manipulační schopnost v kombinované dopravě.....	46
Obr. 16: Prvky logistických řetězců, pro které budou vytvořeny technicko-ekonomické modely	47
Obr. 17: Zjednodušené schéma technicko-ekonomického modelu silniční dopravy	48
Obr. 18: Vyčíslení dopravních nákladů pro lisovaný a nelisovaný odpad – 100 kt/r.....	49
Obr. 19: TE model svozu, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel.....	52
Obr. 20: Ukázka rozdílů nákladů při různých průměrných rychlostech pro vůz MAN 18.225 L-KO [41].....	53
Obr. 21: Srovnání nákladů na svoz pro různé komodity	54
Obr. 22: TE model svozu, časový model s možností volby druhu přepravy, svážené komodity a obslužené nádoby, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel..	54
Obr. 23: TE model svozu, bilanční model pro nádoby, kontejnery a nástavby, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel.....	55
Obr. 24: Zavedení svozových koeficientů	55

Obr. 25: Ukázka TE modelu překládací stanice zpracované v MS Excel, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel.....	58
Obr. 26: Investiční rozvaha o realizaci překládací stanice	59
Obr. 27: Porovnání ročních provozních (první rok provozu) a odpisových nákladů pro překládací stanici.....	59
Obr. 28: Roční provozní náklady pro překládací stanici	60
Obr. 29: Náklady na tunu zpracovaného odpadu na překládací stanici se zohledněním celkové investice	60
Obr. 30: Roční náklady překládací stanici se zohledněním celkové investice a provozních nákladů	61
Obr. 31: Porovnání nákladů na zpracování (lisovaný a nelisovaný odpad)	62
Obr. 32: Rozdíl v nákladech překládací stanice s lisem a bez lisu.....	62
Obr. 33: Časová náročnost zpracování množství odpadu v překládací stanici.....	63
Obr. 34: Ukázka TE modelu pro odvoz, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel.....	64
Obr. 35: Ukázka profilu dopravní cesty na trase Olomouc – Brno (Česká republika).....	66
Obr. 36: Koeficientní křivka pro sklonový poměr.....	67
Obr. 37: Koeficientní křivka pro zatížení vozidla	68
Obr. 38: Výpočet tíhové síly pro stanovení koeficientu zatížení.....	69
Obr. 39: Procentuální složení sklonu na trase, četnost sklonu úseků	69
Obr. 40: Ukázka emisního modelu, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel.....	70
Obr. 41: Vyhodnocení spotřeby PHM v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty.....	70
Obr. 42: Vyhodnocení produkce CO ₂ v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty.....	71
Obr. 43: Vyhodnocení produkce CO v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty.....	72
Obr. 44: Vyhodnocení produkce NO _x v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty.....	73
Obr. 45: Vyhodnocení produkce HC + NO _x v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty	73

Obr. 46: Vyhodnocení produkce PČ v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty.....	74
Obr. 47: Vyčíslení dopravních nákladů pro scénář 30 kt/r bez nákladů na přeložení, 60 km/h, mýto 70 % trasy	75
Obr. 48: Vyčíslení dopravních nákladů pro scénář 30 kt/r s překládací stanicí	76
Obr. 49: Vyčíslení dopravních nákladů pro scénář 30 kt/r s překládací stanicí – odlišné rychlosti.....	77
Obr. 50: Základní schéma řešení železniční dopravy	78
Obr. 51: Dopravní náklady pro roční kapacitu 100 kt – Kč/km·t.....	81
Obr. 52: Dopravní náklady pro roční kapacitu 100 kt – Kč/t	82
Obr. 53: Nutný počet souprav pro roční kapacitu 100 kt	82
Obr. 54: Dopravní náklady pro roční kapacitu 200 kt – Kč/km·t.....	84
Obr. 55: Dopravní náklady pro roční kapacitu 200 kt – Kč/t	84
Obr. 56: Nutný počet souprav pro roční kapacitu 100 kt	85
Obr. 57: Zobrazení těžištních bodů ORP pro Českou republiku	86
Obr. 58: Zobrazení železničních stanic v České republice.....	86
Obr. 59: Zobrazení železniční sítě pro Českou republiku – nejkratší vzdálenosti	87
Obr. 60: Zobrazení železniční sítě pro Českou republiku – celková síť vs. vybraná síť...	88
Obr. 61: Mapa železniční sítě ke knižnímu jízdnímu řádu.....	89
Obr. 62: Matice vzdáleností, ukázka několika vybraných železničních cest	91
Obr. 63: Železniční doprava, výškový profil trati na vybrané dopravní cestě	91
Obr. 64: Železniční doprava, vyhodnocení délky dopravní cesty	92
Obr. 65: Histogram vzdáleností železničních stanic do jejich těžištních ORP.....	93
Obr. 66: Modelové okno systému pro konkrétní variantu.....	94
Obr. 67: Tvorba základních charakteristik z mapových podkladů	95
Obr. 68: Vyčíslené cenové odhady 1 t odpadu, vybraných scénářů pro řetězec s překládací stanicí s lisovacím systémem	97
Obr. 69: Vyčíslené cenové odhady 1 t odpadu, vybraných scénářů pro řetězec s překládací stanicí bez lisovacího systému	97
Obr. 70: Ekonomika zpracování odpadu na překládací stanicí	101

Obr. 71: Vyčíslení mýtného systému pro Emisní třídu VI.	103
Obr. 72: Vyčíslení mýtného systému pro Emisní třídu V.	103
Obr. 73: Vyčíslení mýtného systému pro Emisní třídu IV.	103
Obr. 74: Celková struktura tokového modelu.....	106
Obr. 75: Schéma tokového modelu pro případovou studii.....	106
Obr. 76: Srovnání nákladů na zpracování odpadu na překládací stanici pro dva scénáře	110
Obr. 77: Komplexní vyhodnocení vybraných scénářů č. 1 a č. 2	114
Obr. 78: Porovnání jednotlivých scénářů č. 1 a č. 2	115
Obr. 79: Vyčíslení dopravních nákladů odpadu pro různé roční kapacity na definovanou vzdálenost (jeden scénář pro nájezdovou vzdálenost do zařízení EVO ve vzdálenosti 82 km) lisovaný systém	117
Obr. 80: Vyčíslení dopravních nákladů odpadu pro různé roční kapacity na definovanou vzdálenost (jeden scénář pro nájezdovou vzdálenost do zařízení EVO ve vzdálenosti 82 km)	118
Obr. 81: A) Histogram pro maximální chybu modelu, B) Histogram pro průměrnou chybu na intervalu 10 až 100 kt/r.....	118
Obr. 82: Srovnání dvou cest plastového odpadu (primární a sekundární cesta) – ukázka možných hodnot.....	121
Obr. 83: Hlavní koncentrace plastů v oceánu [53]	124
Obr. 84: Zobrazení hlavních řek, které mají největší dopad na znečištění oceánu [53]..	125
Obr. 85: Ukázka žaludku uhynulého mrtvého ptáka [54].....	125
Obr. 86: Plovoucí zachytňné rameno společnosti The Ocean Cleanup [55]	126
Obr. 87: Motivační obrázek charakterizující nástroj NERUDA (princip transportní úlohy, cíl: minimalizace nákladů)	127
Obr. 88: Citlivostní analýza - PHM.....	140
Obr. 89: Citlivostní analýza – Mýtný systém	141
Obr. 90: Citlivostní analýza – amortizace vozidla.....	142
Obr. 91: Porovnání ročních nákladů v rámci rozdílné pracovní době - Scénář č. 1 - 40 kt/80 km.....	143
Obr. 92: Porovnání ročních nákladů v rámci rozdílné pracovní době - Scénář č. 2 - 30 kt/160 km.....	143

Obr. 93: Rozdílnost ročních nákladů 40t VS 48t - 40 kt/rok - 80km - Lisovaný odpad . 144

Obr. 94: Rozdílnost ročních nákladů 40t VS 48t - 30 kt/rok - 160 km - Lisovaný odpad

..... 144

Seznam tabulek

Tab. 1: Stanovuje základní srovnání mezi Nařízením č. 561/2006 a AETR.....	29
Tab. 2: Teoretický návrh průměrných odvozových rychlostí.....	34
Tab. 3: Zpracování průměrných rychlostí na základě provozních dat [41]	34
Tab. 4: Časová obslužnost kontejnerů při svozu a odvozu.....	36
Tab. 5: Přehledová tabulka sypných hmotností a stanovených produkcí bio odpadu [33]	40
Tab. 6: Sumarizace klíčových nákladů pro vybraný scénář	61
Tab. 7: Produkce emisních polutantů pro naftové motory [45].....	72
Tab. 8: Základní ceny za použití dráhy pro jízdu vlaku nákladní dopravy [48]	79
Tab. 9: Základní charakteristiky svozových tras	95
Tab. 10: Vyčíslení ročních nákladů jednotlivých prvků řetězce	96
Tab. 11: Vyčíslení provozních nákladů během prvního roku provozu překládací stanice, standardní lisování.....	100
Tab. 12: Celkové vyhodnocení překládací stanice, standardní lisování.....	100
Tab. 13: Celkové vyhodnocení překládací stanice, efektivní lisování	101
Tab. 14: Tabulka mýtného systému pro ČR [49]	102
Tab. 15: Náklady na svoz pro scénář č. 1 (2017)	108
Tab. 16: Dopravní náklady (odvoz) do zařízení EVO, scénář č. 1, (2017)	108
Tab. 17: Náklady na svoz pro scénář č. 2 (2024)	109
Tab. 18: Dopravní náklady (odvoz) do zařízení EVO, scénář č. 2 (2024)	109
Tab. 19: Dotříd'ovací linka – vyhodnocení provozu pouze pro plast, Scénář 1 (2017) a scénář 2 (2024).....	112
Tab. 20: Dotříd'ovací linka – vyhodnocení provozu pouze pro papír, Scénář 1 (2017) a scénář 2 (2024).....	113
Tab. 21: Dotříd'ovací linka – vyhodnocení provozu pro kombinovaný scénář (papír, plast), scénář 1 (2017) a scénář 2 (2024)	113
Tab. 22: Koeficient kategorie tratí.....	172
Tab. 23: Produktové faktory	172
Tab. 24: Míra opotřebení vlaku	173

Tab. 25: Vybavenost hnacího vozidla ETCS úrovně 2 a vyšší.....	173
Tab. 26: Sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu	174
Tab. 27: Motivační koeficienty sankce za nevyužitou nebo odřeknutou kapacitu.....	174

1 Úvod

Evropská unie ročně produkuje 2,5 mil kt odpadů [1]. Jedná se o odpady komunální i průmyslové a v přepočtu na osobu se jedná přibližně o 4,3 t odpadu za rok. Toto číslo, lze považovat za velmi závažný stav, který je způsoben především výrobní a nevýrobní činností dnešní společnosti a lze konstatovat, že současné fungování společnosti je automaticky doprovázeno produkcí odpadů. Produkci a tokem odpadů se zabývá i tzv. cirkulární ekonomika, která se snaží dosáhnout stavu, kdy nebude vznikat odpad, resp. bude produkce odpadů minimální. Toto tvrzení, je na jednu stranu velmi optimistické, na druhou stranu lze toto stanovisko brát jako motivující pro budoucí vývoj odpadového hospodářství a vytyčení hlavních cílů s otázkou „jak?“.



Obr. 1: Schéma cirkulární ekonomiky [2]

Stávající ekonomický systém je v současném světě postaven na vysoké produktivitě v oblasti čerpání surovin za účelem tvorby produktů či služeb. Životnost produktů a služeb je velmi malá a všeho (zejména obalů) se společnost rychle zbavuje, to je způsobeno především rozvojem konzumní společnosti. Většina výrobků na konci své životnosti, stejně jako obaly použité při distribuci produktů k zákazníkům, končí na skládkách či jsou odvezeny přímo do spaloven, bez dalšího potenciálního využití. Velmi malá část spotřebních produktů jde na recyklaci, např. se jedná o elektrospotřebiče, textilní výrobky, stále diskutovanou problematikou plastových obalů a další.

Každoročně je přijímána či novelizována legislativa, která má pozitivně ovlivnit produkci a nakládání s odpady např. i za účelem přiblížení se ideálnímu stavu zmíněné cirkulární ekonomiky. Zákon č. 185/2001 Sb. Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů je aktuálně platný a jedná se o stěžejní zákon na území ČR. Již je připraven nový zákon o odpadech, ale zatím nebyl schválen (12/2018). V novém zákonu o odpadech je klíčový komplexní přístup k vývoji odpadového hospodářství na území ČR. Jeden z hlavních cílů je přispět k vyšší míře separace využitelných odpadů pro následné materiálové využití a schopnost

znovu využít zájmové a ekonomicky výhodné materiály. Současně je očekáváno splnění požadavku ve výši 60%¹ materiálové využití komunálních odpadů. Zejména se jedná o navýšení separace plastu, papíru, skla a kovů.

Kromě uvedené legislativy a přípravy pro materiálové využití souvisí s odpadovým hospodářstvím celá řada činností. Jedná se především o rozsáhlé přepravní koncepty, manipulační schopnosti nebo skladování celého portfolia materiálů či komodit. Důraz je kladen na spolehlivost a především časové hledisko navazujících procesů (kontinuální procesy) v celkovém systému. V současné době realizovatelnost dopravy na 1 000 km není principiálně problém, ale je nutné vybrat ekonomicky a environmentálně vhodné řešení tak, aby systém zapadal do celkového národního či nadnárodního konceptu. Dalším důležitým aspektem je variabilita zdrojů, zpracovatelů, odběratelů, zprostředkovatelů a je důležité neopomenout sezonní výkyvy či cenový vývoj trhu z pohledu uplatnitelnosti komodity nebo frakce druhotné suroviny na trhu s potenciální kladnou cenou. Všechny uvedené kroky jsou spojeny s logistickou činností, která hraje v oblasti nakládání s odpady významnou roli. Z tohoto důvodu je nutné se organizací logistiky zabývat do většího detailu.

Předkládaná disertační práce s názvem „Pokročilé modely logistiky v oblasti odpadového hospodářství“ (dále jen disertační práce) se bude prioritně zabývat logistikou v odpadovém hospodářství a hodnocením komplexních dopravních řetězců.

Cílem každého státu a předpokladem správného fungování odpadového hospodářství a cirkulární ekonomiky by mělo být vybudování účelné a ekonomické přívětivé infrastruktury z pohledu funkční, vysoce organizační a řídicí schopnosti v rámci celé společnosti.

¹ Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018

2 Motivace

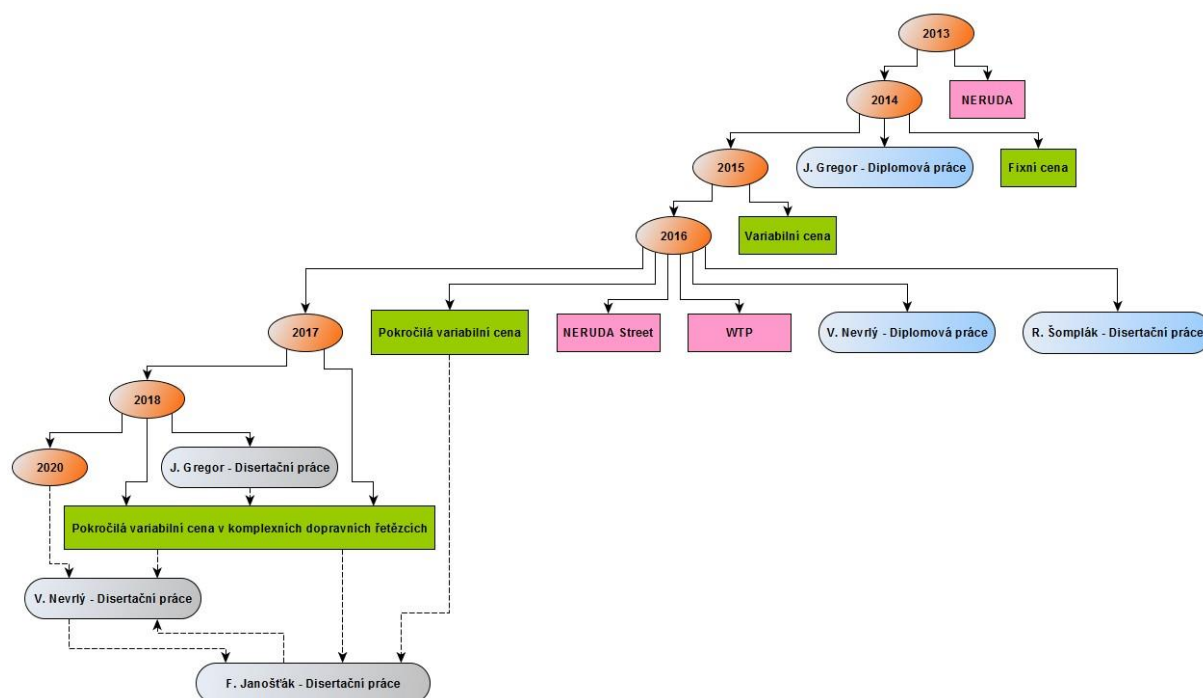
Doprava a obecně komplexní dopravní řetězce jsou v dnešní době nedílnou součástí všech oblastí lidského života. Zrychlující se životní styl sebou přináší nejen nutný technický pokrok, ale i velké množství reziduálních proudů (odpadů). Tyto odpady je nutné zpracovat s ohledem na dopady na životní prostředí a ekonomickou zátěž pro producenty. Nezbytnou částí nakládání s odpady je jejich přeprava od producentů na místo konečného zpracování. Tato disertační práce má za cíl sumarizovat dosavadní činnost autora a úroveň poznání v předmětné oblasti. Výstupem budou tři případové studie, které budou nastiňovat koncepční plánování v odpadovém hospodářství s dopadem na ekonomické vyhodnocení a s důrazem na komplexní modelování dopravních systémů.

Kromě představení komplexních logistických řetězců dokument nastíní důležitost dalších specifických prvků odpadového hospodářství, mezi které patří např. překládací stanice či kombinace překládací stanice s třídící linkou či kompostárnou.

Obr. 2 (str. 18) představuje základní časové schéma klíčových závěrečných prací na Ústavu procesního inženýrství (dále jen „ÚPI“), které se týkají problematiky odpadového hospodářství a současně využívají znalosti v oblasti logistiky nebo přímo modely v této oblasti vytváří. Jedny z prvních úvah o optimalizaci odpadového hospodářství, za účelem lokalizace zařízení pro energetické využití odpadů (EVO), byly zahájeny již v roce 2013. Jednalo se o transportní úlohu, která popisovala vybrané území pomocí síťových grafů a na základě odhadnuté **fixní ceny dopravy**. Úloha stanovovala optimální rozmístění zpracovatelských kapacit (zařízení EVO, mechanicko-biologická úprava) na území ČR. Tento systém se následně rozvinul do komplexního nástroje nazvaného nástroj *NERUDA* [3],[4],[5]. V roce 2014 byla obhájena diplomová práce [6], která vytvořila zjednodušený dopravní technicko-ekonomický model, který na základě optimalizace stanovoval nejvýhodnější využití kontejnerů z pohledu přepravních kapacit – minimalizace dopravních nákladů. Model řešil, jak nelisovaný odpad (volně ložený odpad či odpad z kontejnerů – typická sypná hmotnost se pohybuje v intervalu 100 – 350 kg/m³, viz dále kapitola 3.5), tak lisovaný odpad (odpad, který je lisován za pomoci stacionárního lisu do vybraných kontejnerů – typická sypná hmotnost se pohybuje v intervalu 350 – 700 kg/m³). Hlavním výstupem práce byla **variabilní cena za dopravu** pro zvolenou dopravní vzdálenost. Cena se tedy lišila na základě **přepravního množství a nájezdové vzdálenosti**. Technicko-ekonomický model (dále jen „TE“) byl dále rozvíjen v rámci předkládané disertační práce, publikační činnosti a řešených projektech (např. WtECC²). Do roku 2016 proběhla celková změna struktury dopravního modelu, která vyústila v softwarovou aplikaci **Waste Transportation Prices** (dále jen „WTP“, manuál je uveden v Příloze č. 2). V této době byl model rozdělen do dvou dílčích modelů, které řešily **svozovou** a **odvozovou** část zcela individuálně – jednalo se o hlavní novinku. Svozovou částí dopravní úlohy se rozumí situace, kdy se vybraný svozový prostředek plní výsypem jednotlivých

² Výzkumný projekt "Waste-to-Energy (WtE) Competence Centre" (WtECC, č. TE02000236)

popelnic a kontejnerů. V případě odvozové části se jedná o dopravu z místa A na místo B bez zohlednění sběrné části. Lze konstatovat, že odvozová část pracuje s poměrně ustálenou dopravní rychlostí, kdežto v případě svozové části je rychlost značně variabilní. Byla vytvořena pokročilá databáze dopravních prvků, tj. jízdních souprav (odvozová část), KUKA vozů (svozová část), svozových automobilů a dalších. Ve stejném roce (2016) byly obhájeny i dvě související závěrečné práce - R. Šomplák (disertační práce) [7] a V. Nevrlý (diplomová práce) [8]. Disertační práce [7] se zabývá aplikací simulačních a optimalizačních metod v oblasti energetického využití odpadů. Jádrem práce jsou matematické modely zaměřené na plánování a provoz jednotlivých zařízení a hledání optimálního rozmístění vybraných zařízení na regionální, republikové nebo nadnárodní úrovni. Nástroj pracuje na principu dopravní úlohy a dává do souvislosti všechny uvažované projekty v hodnoceném zájmovém území a je možné díky ní simulovat toky odpadu mezi producenty a zpracovateli. V případě diplomové práce [8] se jednalo o vývoj matematických modelů a algoritmů pro svozové úlohy a způsoby jejich řešení. Byly zde probrány a implementovány deterministické a heuristické přístupy, které se pro tyto úlohy využívají. Velký důraz byl kladen na sestavení matematického modelu odpovídajícího reálné úloze z oblasti odpadového hospodářství a na vývoj původních, resp. případnou modifikaci existujících algoritmů, vhodných pro efektivní a rychlé získání řešení daného problému. Prvotní model je dále rozvíjen jako nástroj *NERUDA Street*³.



Obr. 2: Struktura vývoje nástroje NERUDA a dopravních nástrojů na ÚPI

Klíčovým vstupním parametrem nástroje *NERUDA* je cena za dopravu, která je rozhodující při výběru vhodných lokalit pro výstavbu. Do budoucna je očekávána komplexní integrace

³ Pozn. NERUDA Street popisuje dopravní úlohu na úrovni svozů ulic, např. vhodné pro optimalizaci města, venkovských sídel či kombinace

dopravních technicko-ekonomických modelů do nástrojů *NERUDA* a *NERUDA Street*. V případě nástroje *NERUDA Street*, kromě poskytnutí důležitých vstupních informací (ekonomické vyčíslení hran, tzv. **pre-processing**), dopravní TE modely dokáží zpracovávat i výstupní informace z nástroje, tzn. zpracování výstupu ve formě **post-processingu úlohy**. Může se jednat o cenové zhodnocení zájmových dopravních cest, vyhodnocení nákladů na obsluhu kontejnerů, vyčíslení ročních ekonomických bilancí s dopadem na konkrétní položky či stanovení potřebného vozového parku.

2.1 Legislativa jako trendový nástroj v odpadovém hospodářství

Jak již bylo nastíněno v úvodu disertační práce, do budoucna je očekáván progresivní vývoj legislativy a především zájem vykazovat vyšší míru separace. Vývoj v evropského odpadového hospodářství se v současnosti zaměřuje na technologie a postupy, které jsou v souladu s vyššími stupni hierarchie nakládání s odpady (obr. 3).



Obr. 3: Hierarchie nakládání s odpady

Na základě Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech jsou členské státy nuceny zvýšit do roku 2020 nejméně na 50 % hmotnosti celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace alespoň u odpadů z materiálů, jako jsou papír, kov, plast a sklo, pocházejících z domácností a případně odpady jiného původu, pokud jsou tyto toky odpadů podobné odpadům z domácností. Uvedená směrnice je doplněna o nová písmena (c, d, e), která znějí:

„c) zvýšit do roku 2025 úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace komunálního odpadu nejméně na 55 % hmotnosti;

d) zvýšit do roku 2030 úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace komunálního odpadu nejméně na 60 % hmotnosti;

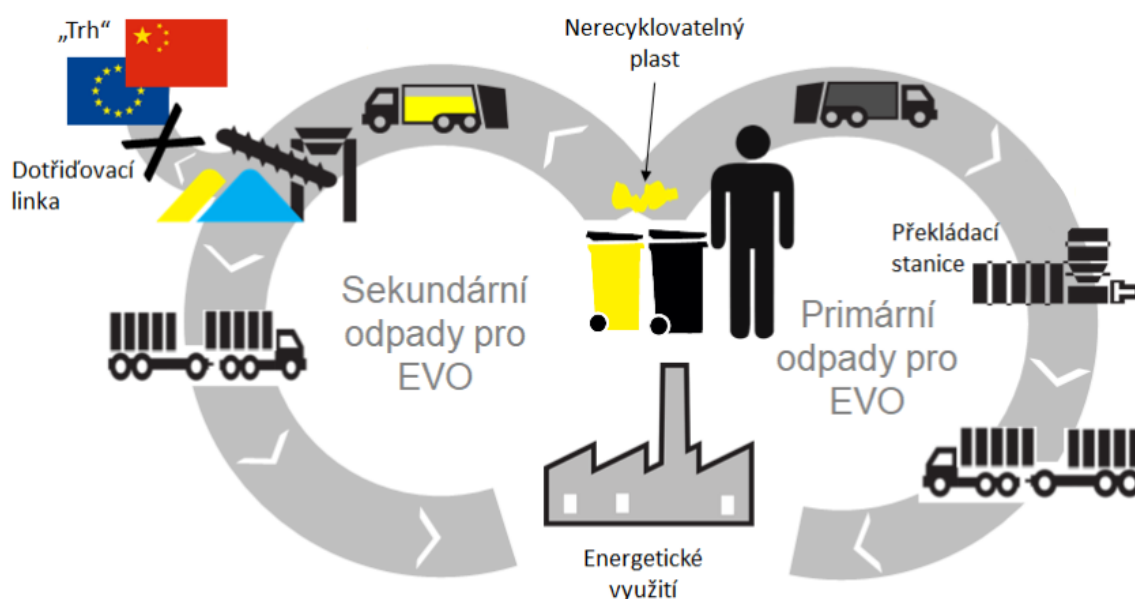
e) zvýšit do roku 2035 úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace komunálního odpadu nejméně na 65 % hmotnosti.“⁴

Dále v lednu 2018 přijala Evropská komise nový soubor opatření "Circular economy package" [39], včetně celoevropské strategie EU pro plasty, možnosti řešit propojení právních předpisů o chemických látkách, produktech a odpadech.

⁴ Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018

Z tohoto důvodu je nutné se dívat na separační cíle nejen jako na číslo, ale především z pohledu koncepčního plánování odpadového hospodářství (dále jen „OH“). Již nyní je patrné, že separační cíle jsou opravdu velmi náročné a aby bylo možné je splnit, bude nutné rozšířit současné postupy v OH, resp. budou zaváděny zcela nové odpadové proudy. Rozšíření stávajících proudů lze chápat jako modernizace sběrných nádob ve městech, zavádění nových míst pro sběr/odběr či zahuštění stávajících míst. Vznik nových proudů lze chápat ve formě zavedení nově sbírané komodity, resp. konkrétní frakce, která má vysokou tržní hodnotu a vyplatí se odděleně svážet i na úkor vysoké dopravní ceně. Souběžně je nutné brát v potaz i nutné rozšíření vozových parků (pořízení nových vozidel), které budou nuceny zajistit obslužnost vybrané oblasti. Dále je nutné, aby byly k dispozici zpracovatelské závody, zejména dotřídňovací linky, které dokáží vybranou komoditu dotřídit z daného proudu zájmové frakce, za účelem dalšího uplatnění, a především s kladnou cenou na trhu. Důležitou roli zde hrají koncová zařízení, zejména recyklační závody (sklárný, papírný, hutě, recyklační závody na plast), která dokáží druhotnou surovinu zpracovat do finálního produktu (recyklace). Aktuálně dochází k značnému zaměňování pojmů separace a recyklace, toto zaměňování se vyskytuje především u celé řady ekologických organizací, které separací běžně charakterizují jako recyklaci.

Vzhledem k aktuálně omezenému exportu plastů do Číny (od roku 2018 poptávka pouze po kvalitních plastech) se nyní nejen ČR, ale i celá Evropa, potýká s uplatněním vyseparovaných plastů z dotřídňovacích linek. Hlavním problémem je nedostatek koncových – recyklačních zařízení. Tato problematika musí být bezesporu řešena souběžně s rozšiřováním sběrných míst a kontejnerů ve městech, aby mohly být dosaženy vysokých separačních cílů. V tomto ohledu byl vytvořen motivační obrázek (obr. 4), který rozlišuje dva základní toky energeticky využitých odpadních plastů. V prvním (pravá strana) plast odchází ve směsném komunálním odpadu (dále jen „SKO“) na překládací stanici a do koncového zařízení (ukázka pro zařízení EVO). V druhém směru (levá strana) je plast sbírán odděleně a je přepravován do zpracovatelského zařízení (dotřídňovací linka). Druhotná surovina (vytříděné frakce z dotřídňovací linky) odchází do recyklačních závodů a zbytkový proud (nečistoty, příměsi, nezájmové frakce) odchází na koncová zařízení (např. zařízení EVO).



Obr. 4: Motivace, odpadní toky pro energetické využití odpadních plastů v kontextu komplexního odpadového řetězce

Veškeré tyto podněty vedou ke koncepčnímu plánování a komplexnímu hodnocení řetězců v OH se zaměřením na logistickou problematiku.

2.2 Cíl disertační práce

Hlavním cílem disertační práce jsou následující oblasti:

- Vytvoření detailních **technicko-ekonomických (TE) modelů** se zaměřením na silniční problematiku v režimu svoz, přeložení a odvoz.
- **Formulovat dopravní logistické modely**, které se standardně používají na úrovni evropského odpadového hospodářství s vidinou variabilní implementace na libovolném území.
- **Vytvořit unikátní otevřené TE modely, které dokáží vyhodnotit ekonomku silniční, železniční a kombinované dopravy.**
- Na základě těchto dopravních modelů zajistit nezbytné **vstupy pro komplexní nástroje** (např. *NERUDA* a *NERUDA Street*), dokázat stanovit cenu pro různé scénáře, provádět citlivostní analýzy a generovat dopravní náklady na vybrané trase tak, aby bylo zřejmé, jak je ekonomicky náročná realizace nákladní dopravy (silniční, železniční či kombinované) prioritně na úrovni České republiky a blízkého příhraničí.
- **Stanovit cenu na bráně vybraného koncového zařízení v kontextu komplexních zpracovatelských řetězců** (motivační obrázek - obr. 4).

Dílčí cíle, které byly splněny v rámci předkládané disertační práce jsou zobrazeny na obr. 5

№	-	Aktivita	Stav	2014				2015				2016				2017				2018			
				3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	1	Silniční doprava	98%																				
2	I	Vytipování a rešerše legislativních požadavků v silniční dopravě	95%																				
3	II	Vytvoření technicko-ekonomických modelů pro silniční dopravu	98%																				
4	III	Vytvoření pokročilé databáze vozidel	99%																				
5	IV	Transformace modelu do realizace svozového a odvozové hledisko	99%																				
6	V	Příprava modelu pro výběr libovolného odpadu (lisovaný, nelisovaný, separované složky)	99%																				
7	VI	Řešení profilu dopravních cest	95%																				
8	VII	Teoretické odhady spotřeby pohonných hmot v korespondenci s reálným provozem	99%																				
9	VIII	Produkce vybraných emisních polutantů	99%																				
10	IX	Průměrné rychlosti, zdržení na trase, operační časy	99%																				
11	X	Mapové podklady a bariéry	90%																				
12	XI	Testování silničních modelů na reálných provozních datech	99%																				
13	XII	Aktualizace datových sad pro silniční dopravu	99%																				
14	XIII	Technicko-ekonomický model překládací stanice	99%																				
15	XIV	Testování modelu na reálných provozních datech	99%																				
16	XV	Příprava dalších zařízení pro zpracování odpadu	95%																				
17	2	Železniční doprava	95%																				
18	I	Vytipování a rešerše legislativních požadavků v železniční dopravě	95%																				
19	II	Vytvoření technicko-ekonomických modelů pro železniční dopravu	98%																				
20	III	Vytvoření vzorové jízdní soupravy	99%																				
21	IV	Řešení profilu dopravních cest	99%																				
22	V	Teoretické odhady spotřeby pohonných hmot	90%																				
23	VI	Tvorba mapových podkladů včetně požadovaných vlastností hran	99%																				
24	VII	Vyhodnocení obsazenosti dopravních cest v kontextu mapových podkladů	90%																				
25	VIII	Technicko-ekonomický model překládkového systému z/na železniční soupravy	90%																				
26	3	Kombinovaná doprava	50%																				
27	I	Vytipování a rešerše legislativních požadavků v kombinované dopravě	50%																				
28	II	Propojení výše uvedených dopravních systémů	50%																				
29	4	Další specifické prvky	95%																				
30	I	Vytvoření technicko-ekonomického modelu třídící linka	95%																				
31	II	Vytvoření technicko-ekonomického modelu kompostárny	95%																				
32	5	Aktualizace datových sad pro modely	95%																				

Obr. 5: Hlavní vytyčené cíle a časový plán disertační práce, stav k 12/2018

Lze konstatovat, že v rámci disertační práce se podařilo připravit TE modelu pro silniční, železniční i kombinovanou dopravu. Jednotlivé popisy modelů jsou uvedeny v kapitole 4 a praktické ukázky v rámci případových studií v kapitole 6.

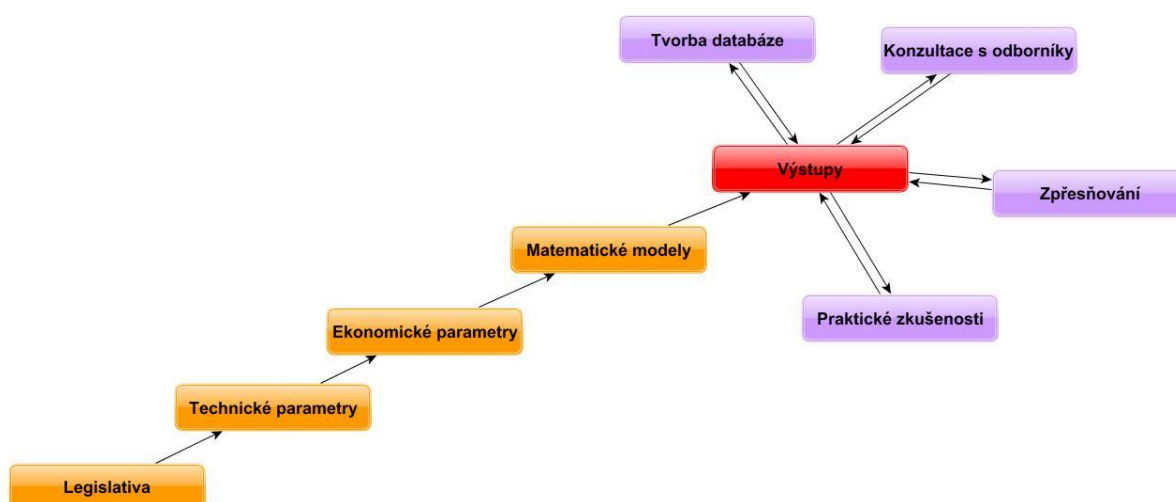
2.3 Základní představení logistických úloh

TE modely přizpůsobené na míru mohou podpořit efektivní využití vozového parku, resp. plánování investic do jeho obnovy v důsledku změny svozových a dopravních tras (např. nová překládací stanice), změna zpracovatelských zařízení (třídící, dotřídňovací linka, kompostárna, MBÚ), změna koncového místa (přechod ze skládek do zařízení EVO) nebo případná změna

množství svážených odpadů (očekávaný nárůst separovaného sběru vybraných složek), zavádění separovaného sběru nových komodit (bioodpady) a jiné. V kontextu nástroje *NERUDA* se jedná o vyčíslování nových investic, které jsou klíčové pro celkové hodnocení.

Jako konkrétní příklad lze uvést Technické služby města Olomouc a.s., které provozují (od 9/2015) překládací stanici s roční kapacitou 30 kt, která je stavěná dle moderních technických řešení. Olomoucká překládací stanice byla vystavěna za účelem shromažďování odpadu z města Olomouce a jeho blízkého okolí a následného odvozu do brněnského zařízení EVO - SAKO Brno, a.s.

V dopravních úlohách je největší problém nalezení vhodných dopravních prvků tak, aby byl vytvořen efektivní dopravní řetězec. Dopravním řetězcem se rozumí kombinace svozové, manipulační, překladištní a odvozové techniky, která ideálně zjednodušuje celkový řetězec a je ekonomicky a technologicky výhodná. Z tohoto důvodu je nutné řešit celkové portfolio parametrů, které vstupují do modelu. Základní přístup pro tvorbu TE modelů je zobrazen na obr. 6.



Obr. 6: Myšlenková mapa TE modelů

Disertační práce bude prioritně zaměřena na prezentaci dopravních modelů a dále budou okomentovány výstupní charakteristiky se zaměřením na silniční dopravu a železniční dopravu (kapitola 5), které zahrnují následující klíčové prvky systémů:

- **Popelářské (KUKA) vozy** – sloužící ke sběru odpadu od producenta a následný odvoz na blízké překladiště.
- **Jízdní soupravy**, resp. speciální odvozové automobily, které zajišťují odvoz odpadu z překladiště do zařízení EVO.
- **Překládací stanice**, která se jeví jako velmi pozitivní mezi-článek pro svoz odpadu za účelem energetického využití při zohlednění větších nájezdových vzdáleností.

- **Železniční systémy**, vhodné systémy pro realizaci nákladní dopravy se zaměřením na OH.

Závěrem (v kapitole 6) bude provedeno několik ukázek práce s TE modely ve formě tří případových studií. První studie bude simulovat několik lokalit (města a blízké okolí), vytvořeny dopravní řetězce a proveden celkový odhad ekonomických nákladů, odvozu odpadu, z uvedené lokality do brněnského zařízení EVO. Výstupní náklady budou zpracovány v podobě měrných nákladů na 1 t, případně celkových ročních nákladů, které jsou nejlépe uchopitelné a komentovatelné. V příloze č. 1, pak budou prezentovány citlivostní analýzy při změně ceny pohonných hmot (PHM), amortizaci vozidla a mýtného systému.

Druhá studie bude poukazovat na zpracovatelskou kapacitu překládací stanice s dopadem na **citlivostní analýzu** poplatku mýtného systému při zohlednění různých emisních tříd. Třetí případová studie bude analyzovat ekonomickou náročnost odpadového hospodářství v roce 2017 a v roce 2024. Pro rok 2024 bude využit prognózovací nástroj *JUSTINE* [3], který stanoví produkci vybraných komunálních odpadů.

2.4 Očekávaná koncepce výstupů disertační práce

Mezi základní klíčové výstupy TE modelů a dizertační práce patří především podklady pro další navazující analýzy (environmentální, ekonomické nebo energetické posouzení):

- Ekonomické hodnocení dopravní problematiky.
- Technické hodnocení dopravní problematiky.
- Spotřeba PHM a emisní dopad.
- Hodnocení komplexního dopravního řetězce.
- Ekonomické hodnocení komplexních řetězců v odpadovém hospodářství.

Propojením technické specifikace a ekonomického nacenění zájmových položek vznikne **TE model**.

TE modelem se rozumí soupis algebraických rovnic, které jsou uspořádány do vhodné komplexní podoby a na základě kterých lze stanovit ekonomické hodnocení vybrané aktivity při zohlednění okrajových podmínek.

TE model dokáže vyčíslit a generovat požadované parametry, které jsou následně využity pro nástroje vyvíjené na ÚPI. Ekonomické parametry, výstupy z TE modelů, jsou důležité vstupní údaje do nástroje *NERUDA*, resp. *NERUDA Street*. Uvedené nástroje jsou závislé na vstupních parametrech (vzdálenost, ekonomika, čas či jiný klíčový parametr) a optimalizují dopravní trasy, případně na základě vhodně vytvořené silniční sítě vyhledají nejvhodnější lokalitu výstavby určitého zařízení, tj. překládací stanice, zařízení EVO, třídící linky, mechanicko-biologické úpravy či jiné.

Na základě vhodně vybrané dopravní sítě (komplexní či nejkratší dopravní síť), jsou ekonomicky popsány dopravní hrany. Dopravní ceny jsou generovány v jednotce Kč/t nebo Kč/km.t (typický výstup z TE modelů) – na základě požadovaného vstupu do výpočtu. Mezi další výstupy z TE modelů patří především:

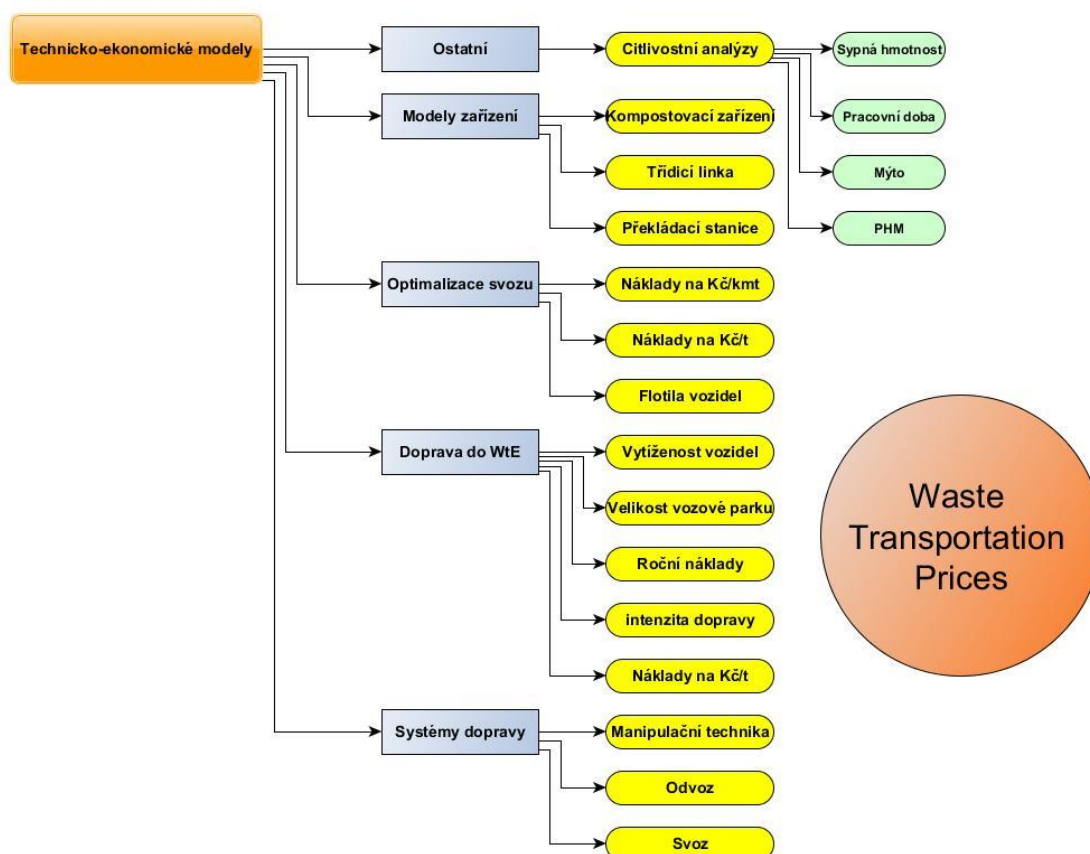
- Roční náklady na vozový park.
- Roční náklady na jeden automobil.
- Mzdové náklady.
- Náklady na PHM.
- Náklady na mýtný systém.
- Roční fixní náklady.
- Roční variabilní náklady
- A další.

Kromě ekonomických parametrů je nutné se zabývat i technickými parametry, které jsou, v případě logistických systémů, následující:

- Velikost a složení vozového parku – stanovení počtu automobilů na základě obslužnosti území, resp. v případě řešení intenzity dopravy na vybraném území.
- Vytíženost vozového parku – denní/měsíční/roční báze vytíženosti vozidel.
- Legislativní omezení.

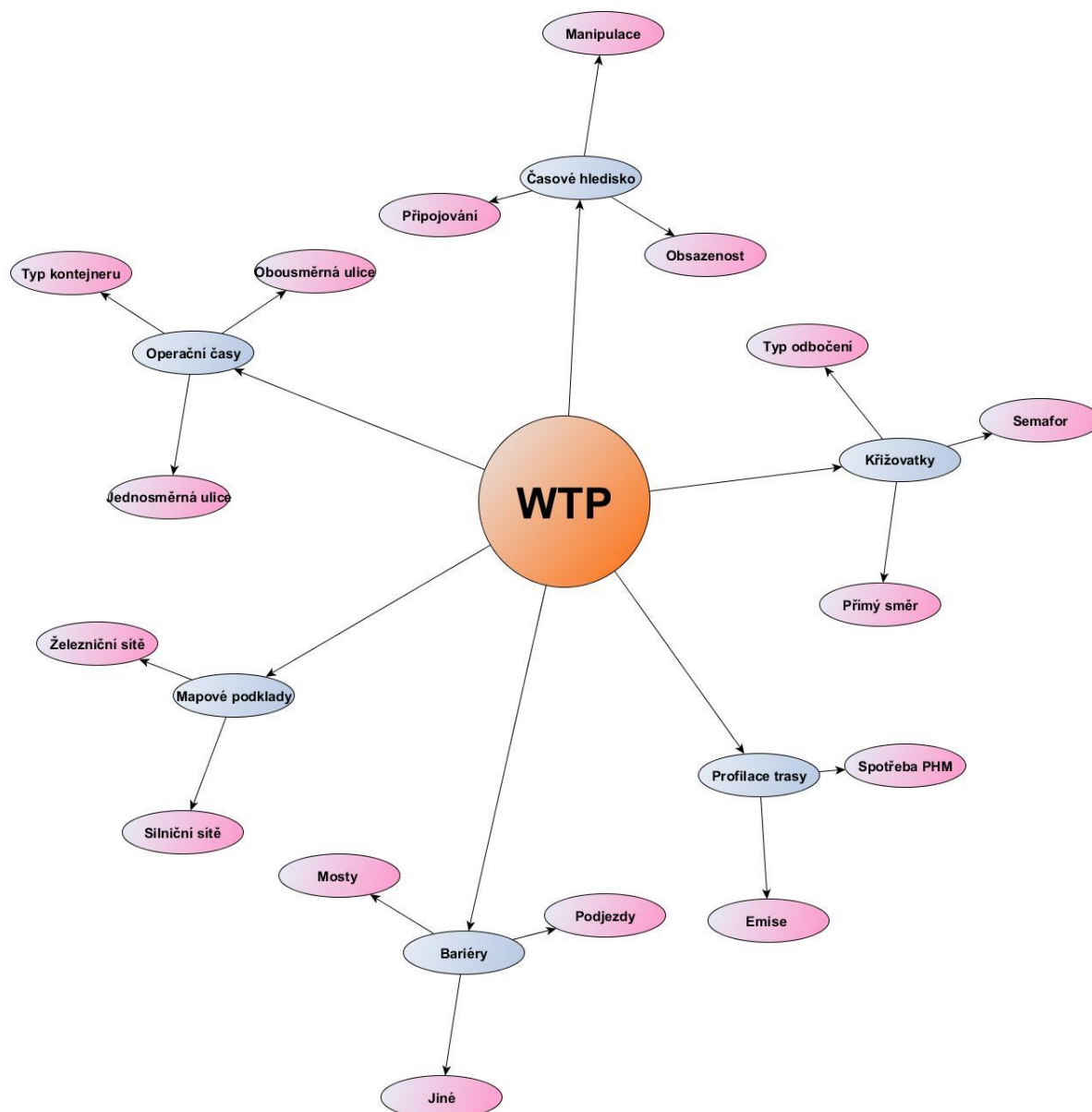
Obr. 7 představuje základní přehled výstupů z TE modelů, které jsou nezbytné pro nástroj *NERUDA* z pohledu optimalizace, tak i další dílčí klíčové položky, které jsou vhodné např. při řešení komerčních zakázek z pohledu dopravní problematiky. Schéma na obr. 7 představuje základní strukturu, která je odpovídající softwarové aplikaci WTP, kterou lze považovat za klíčový výstup projektu WtECC⁵. Manuál k softwarové aplikaci je přiložen v Příloze č. 2.

⁵ Příspěvek vznikl na základě finanční podpory poskytnuté Technologickou agenturou České republiky v rámci výzkumného projektu č. TE02000236 "Waste-to-Energy (WTE) Competence Centre".



Obr. 7: Základní struktura výstupů z modelu

Kromě hlavního těla softwaru a TE modelů je nutné uvést i další návaznosti, které jsou důležité v pokročilých modelech. Modely je nutno efektivně vzájemně provázat tak, aby společně pracovaly a využívaly uvedené výstupy. Obr. 7 představuje základní strukturu a obr. 8 poukazuje na další pokročilé funkce modelu, které je nutné využívat, aby modelování bylo na vysoké úrovni a modely se staly klíčovými pomůckami v oblasti logistiky nejen odpadového hospodářství.



Obr. 8: Další výpočtové aplikace spolupracující s nástrojem WTP

3 Přípravná fáze tvorby TE modelů

Vzhledem ke korektnímu přístupu tvorby TE modelů, je nutné se zabývat řešeršní aktivitou v oblasti legislativy, přístupu řešení odborných studií, článků a v neposlední řadě základními provozními parametry, které byly zvoleny jako klíčové (sytná hmotnost, jednotkové operace sběru, průměrné rychlosti).

3.1 Legislativní rámec silniční dopravy

V kapitole bude uveden soupis základní legislativy⁶, která je platná pro silniční dopravu a bude vybráno několik stěžejních bodů, které budou okomentovány. Detailnější popis legislativy lze nalézt v ukončeném dílčím cíli DC04.4 v rámci výzkumného projektu WtECC. Z tohoto důvodu nebude detailní rozbor legislativy v předkládané práci, proveden. Stěžejní legislativa v oblasti silniční dopravy je následující:

- **Zákon 185/2001 Sb.**, ze dne 15. května 2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů (dále jen „zákon o odpadech“).
- **Směrnice evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008** ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic (dále jen „Směrnice č. 98/2008“).
- **Nařízení evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 1013/2006**, ze dne 14. června 2006 o přepravě odpadů (dále jen „Nařízení č. 1013/2006“).
- **Nařízení evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 561/2006** ze dne 15. března 2006 o harmonizaci některých předpisů v sociální oblasti týkajících se silniční dopravy, o změně nařízení Rady (EHS) č. 3821/85 a (ES) č. 2135/98 a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 3820/85 (dále jen „Nařízení č. 561/2006“).
- **Evropská dohoda o práci osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě** (dále jen „AETR“).
- **Směrnice Rady 96/53/ES** ze dne 25. července 1996, kterou se pro určitá silniční vozidla provozovaná v rámci Společenství stanoví maximální přípustné rozměry pro vnitrostátní a mezinárodní provoz a maximální přípustné hmotnosti pro mezinárodní provoz (dále jen „Směrnice č. 96/53“)

Směrnice č. **98/2008** stanovuje právní rámec s nakládání s odpady v rámci Společenství. Poukazuje na strategii, tj. předcházení vzniku odpadů, která by měla být prioritou v oblasti nakládání s odpady. Dále uvádí, že opětovné použití a recyklace materiálů by měla být upřednostňována před energetickým využitím odpadů. Samozřejmě energetické využití odpadů není možné zanedbat v této směrnici ani v celkovém dokumentu. Z uvedené argumentace, směrnice č. 98/2008, definuje dva velmi důležité pojmy a to zásady, resp. principy **soběstačnosti** a **blízkosti**, které by měly vést k lepšímu pochopení a následnému výkladu energetického využití odpadů. Členské státy ve spolupráci s dalšími členskými státy, pokud je to nezbytné, by měly přijmout taková opatření, která budou perspektivní pro vybudování

⁶ Čerpáno z komerčního právníckého softwaru Codexis Academia

odpovídajících sítí zařízení na odstranění odpadu a zařízení, které budou využívat odpad. Prioritně je směrnice zaměřena na domácnosti, ale je zohledněn i SKO od jiných původců, resp. přímo z průmyslových sektorů, produkující nadbytek KO a je prioritně požadováno využití nejlepších dostupných technik a technologií pro jeho odstranění.

Je nutné poukázat na drobnější odchylku od Nařízení č. 1013/2006, kdy členské státy mohou omezit transport přes lokální sítě, sítě procházející přes dané území státu, odpadu určeného k energetickému využití. A to z důvodu, že během transportu, převozu a dalších aktivit spojených s přeshraničním transportem, bude vznikat na území členského státu další odpad nebo zpracování odpadu nebude v souladu s národními normami.

Preferovaná síť členských států je vytvořena tak, aby Společenství bylo schopno dosáhnout **soběstačnosti** v odstranění a využití odpadů a především si dokázalo zajistit jednotnost. Síť umožňuje, aby se odpad odstraňoval a využíval v některých z nejbližších zařízení (princip **blízkosti**) za použití nejvhodnějších metod se zajištěním vysokého stupně ochrany životního prostředí.

Velmi důležité je zmínit, že zásady **blízkosti** a **soběstačnosti** neznamenaají, že každý členský stát musí mít na svém území všechna konečná zařízení pro využívání odpadů, ale je požadována spolupráce s členskými státy při využití vytyčených sítí. Tedy pokud bude využito těchto sítí, za dodržení výše uvedených legislativních omezení, jedná se o korektní legislativní implementaci principu blízkosti i soběstačnosti.

Nařízení č. 561/2006 a AETR stanovuje maximální dobu řízení, vzájemné porovnání je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1: Stanovuje základní srovnání mezi Nařízením č. 561/2006 a AETR⁷

	AETR	Nařízení č. 561/2006
Denní doba řízení	Max. 9 h (možné zvýšení 2x týdně na 10 h) mezi dvěma odpočinky	
Týdenní doba řízení	Max. 56 h (10 + 10 + 9 + 9 + 9 + 9)	Max. 56 h
Týdenní pracovní doba Nař. vlády č.589/2006 Sb. §5 odst. 1	48 h, lze prodloužit na max. 60 h, pokud za 26 po sobě jdoucích týdnů nebude překročena průměrná pracovní doba 48 h (včetně ostatních pracovních činností (bez přesčasů))	
Celková doba řízení za období dvou po sobě jdoucích týdnů	Max. 90 h	
Přestávka v řízení	Nejpozději po 4,5 hodinách řízení nejméně 45 minut. Lze rozdělit na trvající nejméně 15 min	Nejpozději po 4,5 hodinách řízení nejméně 45 minut. Lze rozdělit pouze na 2 úseky: první 15 min a druhý 30 min.

⁷ Dostupní z <http://www.centrum-preprav.cz/clanky-prilohy/aetr-vs-561.pdf>

Běžná denní doba odpočinku	Nejméně 11 h v průběhu 24 h od skončení předchozí doby odpočinku	
Rozdělení běžné denní doby odpočinku	Při prodloužení na nejméně 2 h lze rozdělit až do 3 úseků, přičemž jeden úsek musí být nejméně 8 souvislých hodin	Při prodloužení na nejméně 12 h lze rozdělit pouze do 2 úseků: První úsek nejméně 3 h, druhý úsek nejméně 9 hod.
Přerušování běžné denní doby odpočinku na trajektu	1x nejvýše na 2 h za podmínek uvedených v čl. 9 nařízení. Řidič však musí mít během odpočinku dispozici lůžko nebo lehátko	Nanejvýš 2x jinými činnostmi, které nepřesahují dobu trvání celkem 1 hod. Řidič, však musí mít během odpočinku dispozici lůžko nebo lehátko
Zkrácená denní doba odpočinku	Možné zkrácení max. 3x týdně až na 9 h s tím, že dojde do konce týdne k odpovídajícímu vyrovnání	Možné zkrácení max. 3x až na 9 h mezi dvěma týdenními odpočinky, bez vyrovnání
Denní doba odpočinku (nejméně 2 řidiči)	8 h za každé časové období 30 h	Nejméně 9 h za každé období 30 h od skončení poslední doby odpočinku. Přítomnost druhého řidiče ve vozidle povinná s výjimkou první hodiny.
Běžná týdenní doba odpočinku	45 h s možným zkrácením na 36 h je-li vybrána v místě obvyklého stanoviště anebo zkrácena na 24 h a čerpána v průběhu cesty.	Nejméně 45 h včetně jedné denní doby odpočinku
Zkrácená týdenní doba odpočinku	Nejméně 36 h (je-li čerpána v místě obvyklého odstavení vozidla) nebo nejméně 24 h (mimo místo obvyklého odstavení vozidla), s vyrovnáním do konce 3 následujícího týdne	Nejméně 24 h s vyrovnáním do konce 3 následujícího týdne
Začátek týdenního odpočinku	Po nejvýše šesti denních dobách řízení. (v případě mezinárodní osobní příležitostné dopravy po nejvýše 12-ti denních dobách řízení)	Nejpozději po uplynutí šesti 24 hodinových časových úseků od skončení předchozího týdenního odpočinku.
Přesun řidiče do místa, kde se ujme vozidla	Nelze vykázat jako odpočinek. Pokud řídí vozidlo nespádající do působnosti tohoto nařízení, musí vykázat jako jinou práci	
Povinnost řidičů předložit záznamové listy ke kontrole	Z běžného týdne a posledního dne týdne předcházejícího, během něhož řídili	Z běžného dne a předchozích 28 kalendářních dní

Směrnice č. 96/53 stanovuje maximální rozměry a přípustné zatížení pro tuzemský provoz:

- *Maximální délka:*
 - Motorové vozidlo 12,00 m.
 - Přívěs 12,00 m.
 - Návěsová souprava 16,50 m.
 - Přívěsová souprava 18,75 m.

- *Maximální šířka:*
 - Všechna vozidla 2,55 m.
- *Maximální výška:*
 - Všechna vozidla 4,00 m.
- *Maximální váha:*
 - Jízdní souprava 48,00 t.
- *Další důležité parametry:*
 - Dvounápravový přívěs – max. 18 tun.
 - Třínápravový přívěs – max. 24 tun.

3.2 Rešerše

Doprava a dopravní modely se zaměřením na generování ceny za dopravu, v oblasti odpadového hospodářství, se v publikacích vyskytují velmi zřídka [9], [10]. Z tohoto důvodu je velký potenciál tuto problematiku řešit v celkovém konceptu nástroje *NERUDA*. V odpadovém hospodářství a v oblasti plánování zpracovatelských kapacit publikace a odborné články řeší dopravní cenu hlavně ve formě fixní hodnoty bez zohlednění přepravovaného množství či nájezdového množství kilometrů [11]. Tedy je zvolen určitý fixní ekonomický poplatek např. v jednotce Kč/km.t, pro zjednodušený ekonomický odhad dopravy. Dopravní trasy jsou ekonomicky vyhodnoceny pouze z pohledu součinu fixní ceny a vzdálenosti. Tento přístup, lze považovat za výrazné zjednodušení.

Čistě technicko-ekonomické modely, které generují variabilní cenu za dopravu, lze nalézt v článku týkající se svozu plastů [12]. V tomto článku je vytvořen zjednodušený dopravní model, který při zohlednění mzdových a provozních nákladů vyčísluje náklady na obsluhu jednoho kontejneru. Jedná se také o jeden z mála zdrojů, který rozděluje náklady do fixních a variabilních. Článek je prioritně vytvořen na základě zjednodušené svozové úlohy a vyčíslení poplatku za produkci CO₂ na základě odhadu produkce. Průměrná rychlost je v tomto článku stanovena na hodnotu 15, 25 a 40 km/h mezi jednotlivými výsypy. Rychlostní parametr je principiálně jeden z klíčových parametrů, které je nutno korektně volit do TE modelů, protože ovlivňuje celkový výpočet. Rychlostními limity se detailně zabývá případová studie, která na základě typů komunikací, stanovuje průměrné rychlosti celého spektra automobilů [13]. Jedná se o osobní automobily, motocykly, nákladní a těžké nákladní automobily. Celkově bylo vyhodnoceno, že rychlosti se v průměru lišily o 10 % v kontextu příkazové tabule.

Publikace řešící pokročilé dopravní záležitosti v oblasti zjednodušených TE modelů jsou následující [14],[15]. Výstupy z modelů jsou využity jako vstupní data do kartografického softwaru ArcGIS⁸ [16]. Na základě provozních dat jsou vyčísleny náklady na dopravu a hledány nejvhodnější svozové trasy. Svozové trasy jsou optimalizovány na základě vybraných parametrů, kterými nejběžněji jsou čas, spotřeba nebo kilometrový nájezd [17]. Optimalizace svozových tras [18] probíhá na základě softwarového algoritmu a je nutné uvést, že se jedná

⁸ ArcGIS je geografický informační systém určený pro práci s prostorovými daty.

o zjednodušené řešení problému, protože je vybráno menší město, část města resp. pouze několik ulic [19], [20], [21]. Toto malé území je kartograficky implementováno do ArcGIS, na základě zvolených parametrů je provedena optimalizace. Výstupem jsou navržené nejvhodnější dopravní trasy. Toto se může jevit jako ideální přístup, avšak je nutné uvést, že nástroj ArcGIS umí pracovat pouze s maximálním počtem uzlových bodů, kterých je 1 000 – lze přirovnat k obsluze 1 000 kontejnerů. Detailnější rozbor algoritmu a vzájemné porovnání je rozebráno v pojednání kolegy V. Nevrlého na téma pokročilé modely logistiky v odpadovém hospodářství se zaměřením na vývoj optimalizačních algoritmu pro rozvoj nástroje *NERUDA Street*.

Toto omezení v případě větších měst je opravdu stěžejní a nebudou dosaženy ideální či ekonomicky nejvhodnější dopravní trasy z pohledu celkového zájmového území. V tomto ohledu je nutné město rozdělit např. na městské čtvrtě tak, aby jedna městská čtvrť měla max. 1 000 obslužných míst, tj. 1 000 kontejnerů. V případě, že městská čtvrť má více obslužných míst, je nutné, aby městská čtvrť byla dále rozdělaná na další menší území a aby byla dodržena maximální obslužnost všech adresních bodů. Tento parametr se může na jednu stranu jevit jako ne příliš omezující podmínka, ale v případě, že bude požadováno optimalizovat větší území např. kraj či okres, bude nastávat problém při celkovém řešení. Tímto lze argumentovat jako hlavní nevýhodu využívání systému ArcGIS.

Z tohoto důvodu je významný další vývoj především nástroje *NERUDA Street*, který není limitován množstvím obslužných bodů. Článků zabývajících se tvorbou sítí tak, aby nedocházelo k výše uvedenému omezení, je poměrně velké množství. Lze uvést např. [22] nebo [23]. Další detailnější rešeršní aktivity v této oblasti se zaměřením na matematickou stránku problému, byly provedeny v disertační práci [7] a v budoucnu budou dále rozpracovány v návazných pracích řešených na UPI.

Dále je nutné se v dopravních úlohách zabývat spotřebou PHM a produkcí emisních polutantů. V současné době je poměrně velký důraz kladen na tuto problematiku i v kontextu používání nákladních automobilů splňující určité emisní třídy. Nejpresnějším stanovením emisních polutantů je měření v přímém provozu a při zohlednění okamžité spotřeby paliva [24]. Produkce emisních polutantů záleží na celé řadě faktorů, jako např. technický stav vozidla, aktuální teplota motoru, styl jízdy řidiče, správné řazení a na mnoha dalších faktorech. Z uvedených příkladů je poměrně složité tabelovat produkce emisních polutantů či zakomponovat produkce emisí z dopravy do systémů pro podporu návrhu koncových zařízení. Poměrně velké množství článků a případových studií, se zabývá produkcí emisních polutantů buďto na základě laboratorních experimentů, měření z reálných provozů, teoretických hodnot, tabelovaných hodnot nebo přepočítávají produkce jako ekvivalent CO_2 [25], [26]. V kontextu dopravních úloh autor předkládané práce shledává jako nekorespondující využívat CO_2 ekvivalent. Je to z důvodu, že limitní hodnota oxidu uhličitého není v emisních normách (aktuálně) zohledněna a je nutné ji dopočítávat. Jednou z možností je využití spalovací rovnice a na základě spotřeby paliva stanovit očekávané množství CO_2 , tímto přístupem se zabývá článek [37].

Kromě dopravní problematiky je nutné řešit i místa pro realizovatelnost překládky. V oblasti překládacích stanic jsou využity hlavně případové studie a studie z reálných provozů [27], [28], [29]. Tyto dokumenty jsou po technické i ekonomické stránce nejvhodnější pro relevantní posouzení. Příznivě to podporuje tvorbu TE modelů.

V oblasti odpadového hospodářství lze nalézt několik publikací, zabývajících se komplexním řetězcem, tj. sběrem, přeložením a odvozem na konečné zpracování. Dopravu plastů, skla a jiných materiálů z pohledu komplexních řetězců, lze nalézt v publikacích či přímo v případových studiích konkrétního území [30], [31], [32]. Jak bylo uvedeno ve spojení s překládací stanicí, patří případové studie ke klíčovým pomůckám přípravy technicko-ekonomických modelů.

Další oblastí, kterou je nutné se zabývat, jsou obecně klíčové parametry dopravních modelů, které budou velkou měrou ovlivňovat TE modely. Jedná se především o následující:

- Rychlostní průměry.
- Provozní časy.
- Sypné hmotnosti.

Tyto parametry patří k velmi důležitým vstupním hodnotám do modelu, které ovlivňují výpočet. Legislativní stránka věci byla probrána v kapitole 3.1, kde je uvedeno, že je důležité řešit předmětnou legislativu především v kontextu přepravních kapacit (celkové možné zatížení jízdních souprav, jak v případě vnitrostátní, tak mezinárodní přepravy). Rychlostní průměry a operační časy je nutné uvažovat z pohledu vyčíslení celkových cyklů – manipulace u producenta, svoz, zdržení na překládací stanici a následný odvoz do koncového zařízení. Sypné hmotnosti, nelze v kontextu maximálního zatížení, zanedbávat. Pro každou komoditu je nutné dokázat vyčíslit sypnou hmotnost tak, aby bylo možné simulovat maximální zatížení jízdní soupravy.

3.3 Stanovení rychlostních průměrů

Průměrná rychlost v ekonomice dopravy hraje klíčovou roli, proto jí byla věnována zvláštní pozornost. V loňském roce (2018) byla na toto téma úspěšně obhájena bakalářská práce [41]. V závěrečné práci byly rychlosti popsány za pomoci GPS signálů z vytipovaných dopravních cest, pro jednotlivé silniční třídy (dálnice, silnice I. třídy, II. třídy, III. třídy). Tyto hodnoty byly následně porovnány s teoreticky odhadnutými rychlostmi sdělenými při konzultacích s odborníky v oblasti dopravního inženýrství. Velmi zajímavý je odlišný názor odborníků, kteří shledávají největší problém ve stanovení (odhadnutí) průměrné rychlosti ve městě (Ověření 1 a Ověření 2 viz tab. 2). Tato rychlost v případě KUKA vozů je velmi důležitá, lze konstatovat, že je dominantní.

Základní úvahy o návrhu průměrných rychlostí (odvozové) lze nalézt v tab. 2, svozové rychlosti jsou vytvořeny na základě měření a popsány v další kapitole (**svoz** – sběr a následný převoz

odpadu na překládací stanici, **odvoz** – převoz odpadu z překládací stanice pomocí jízdních souprav). Uvedené limity se samozřejmě týkají všech typů automobilů, které se v modelu vyskytují. Je nutné uvést, že tabulka uvádí základní pohled na rychlostní limity a v modelu je lze libovolně měnit, dle požadavků uživatele. Položka „rychlost GPS“ charakterizuje hodnotu získanou z GPS signálu a zprůměrovanou z více charakteristických tras. Následně položky „Ověření 1“ a „Ověření 2“ jsou získány po konzultacích s odborníky zabývající se dopravou.

Tab. 2: Teoretický návrh průměrných odvozových rychlostí

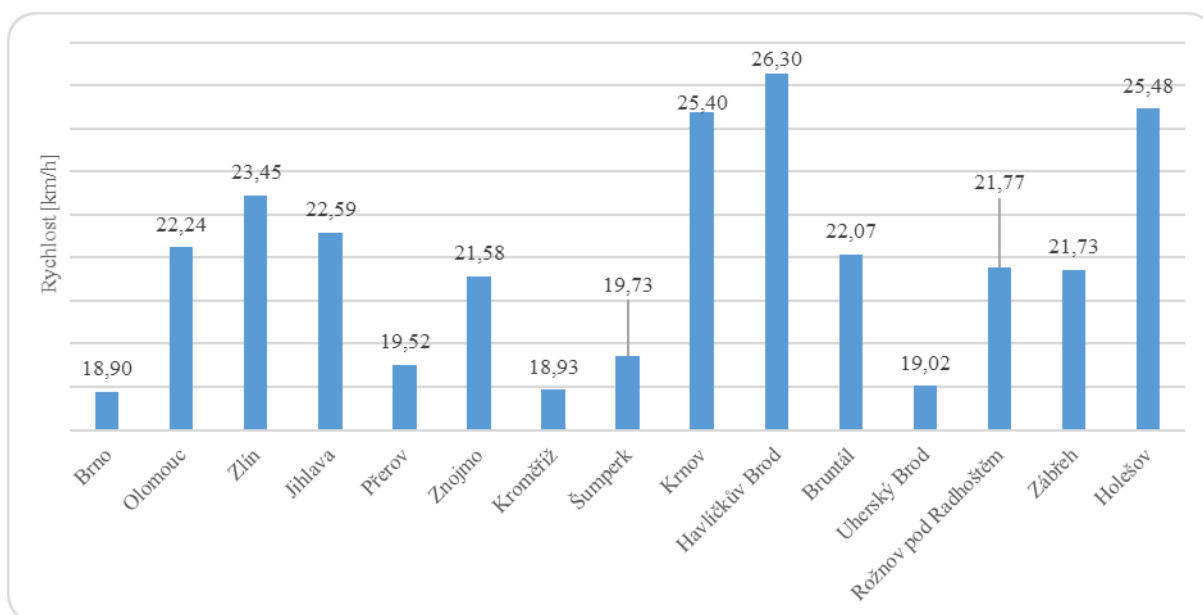
Typ komunikace	Rychlost GPS	Ověření 1	Ověření 2	Jednotka
Dálnice a rychlostní komunikace	80	70	70	km/h
Silnice 1. Třídy	65	60	60	
Silnice 2. Třídy	60	55	55	
Silnice 3. Třídy	30	40	40	
Město	30	35	25	
Vesnice	30	40	40	

V případě závěrečné práce slečny Koutné došlo k detailnějším analýzám a byla zjištěna průměrná provozní rychlost v **obci 21,9 km/h** a **mimo obec 41,8 km/h**. Tuto provozní rychlost lze chápat jako rychlost odvozovou. Zpracování jednotlivých rychlostí je patrné z tab. 3.

Tab. 3: Zpracování průměrných rychlostí na základě provozních dat [41]

Obec	Počet obyvatel	Minimum průměrné rychlosti [km/h]	Maximum průměrné rychlosti [km/h]	Průměr průměrné rychlosti [km/h]	Minimum ujeté vzdálenosti [km]	Maximum ujeté vzdálenosti [km]	Průměrná ujetá vzdálenost [km]
Brno	379 527	18,81	18,98	18,90	8,67	8,84	8,75
Olomouc	100 494	22,14	22,34	22,24	9,49	9,54	9,51
Zlín	74 947	23,32	23,59	23,45	8,92	9,03	8,98
Jihlava	50 724	22,12	23,07	22,59	9,68	10,02	9,85
Přerov	43 565	19,27	19,76	19,52	6,93	7,15	7,04
Znojmo	33 719	21,20	21,95	21,58	9,24	9,45	9,35
Kroměříž	28 897	18,59	19,28	18,93	7,56	7,77	7,67
Šumperk	26 151	19,45	20,01	19,73	7,34	7,49	7,42
Krnov	23 595	24,86	25,94	25,40	9,92	10,28	10,10
Havlíčkův Brod	23 101	25,08	27,52	26,30	10,82	11,43	11,12
Bruntál	16 495	21,31	22,84	22,07	8,23	8,56	8,40
Uherský Brod	16 522	18,60	19,44	19,02	6,72	6,95	6,84
Rožnov p. R.	16 469	21,53	22,00	21,77	6,96	7,04	7,00
Zábřeh	13 666	20,83	22,63	21,73	7,16	7,68	7,42
Holešov	11 626	24,61	26,34	25,48	9,89	10,30	10,09

Grafické porovnání průměrných rychlostí je zobrazeno na obr. 9.



Obr. 9: Průměrné rychlosti v jednotlivých obcích

Jak již bylo uvedeno, model pracuje s průměrnými rychlostmi. Z tohoto důvodu bylo nutné vytvořit samostatný model pro výpočet průměrné rychlosti se zaměřením na svoz odpadu s KUKA vozy. U těchto vozů vystupují dvě hlediska a to:

- Sběr odpadu.
- Svoz odpadu např. na překládací stanici.

Tedy, aby bylo možné provádět reálné simulace a zjistit přesněji skutečnou průměrnou rychlost svozových automobilů, bylo nutné vytvořit sofistikovaného pomocníka (**rychlostní mini-model**) pro výpočet několika svozových tras v závislosti na časovém a rychlostním parametru. Výstupem je **průměrná rychlost na popisovaném území** či svozové trase, která je zadávána do svozového TE modelu, principiálně lze tento mini-model využít i pro jízdní soupravy.

Praktický výpočet probíhal následovně – jednalo se o demonstraci simulace svozových tras vytvořených několika kratšími úseky, tj. např. výjezd automobilu z centrály, sběr odpadu, svoz odpadu na překládku a odjezd na domovskou centrálu. V těchto simulacích lze pokračovat i v podobě detailnějšího rozboru svozu odpadu v rámci blízkých obcí, kdy KUKA vůz obsluhuje např. čtyři obce a musí urazit pět specifických vzdáleností po silnicích různých tříd. Jednotlivé úseky jsou popsány kilometrovou charakteristikou, průměrnou rychlostí, případně mýtným systémem. Teoreticky je možné uvažovat s nekonečným počtem úseků, které je nutné popsat uvedenými charakteristikami. Současně dokáže model zpracovávat libovolnou úroveň detailu a obsluhu sběrných nádob. Limitující je v tomto případě pouze reálné množství odvezeného odpadu tak, aby byla splněna určitá podmínka naplnění vozu – detailnější informace jsou popsány v kapitole 5.2.

3.4 Jednotkové operace sběru odpadu a další parametry ovlivňují průměrnou rychlost

Časové hledisko je velmi důležitý parametr v dopravních modelech, jak z pohledu legislativního (max. denní doba řízení), tak z pohledu vyčíslení délky svozových cyklů. Časové hledisko je nutné chápat ze tří pohledů:

- Příprava a operační čas na depu/centrále.
- Obsluha kontejnerů na svozové trase.
- Ukončení svozu a operační čas při vykládce.

Příprava a operační čas na depu lze chápat jako čas potřebný k nastartování a zahřátí vozidla na centrále. Obsluha kontejnerů na trase je již složitější záležitost, jednak z pohledu časové manipulační schopností automobilu, tak typu infrastruktury. Pro TE modely bylo stanoveno následné časové zatížení, viz tab. 4. Jedná se o hodnoty, které byly experimentálně stanoveny na základě měření. Měření operací s kontejnery probíhalo v provozu ZEVO Malešice, Pražské služby a.s., v Technických Službách Olomouc a Technických Službách Přerov, obsluha kontejnerů byla měřena taktéž v Brně a diskutována s uvedenými subjekty.

Tab. 4: Časová obslužnost kontejnerů při svozu a odvozu

Typ kontejnerů	Interval			Pozn.
	Min. [s]	Max. [s]	Volba [s]	
Standardní kontejner – umístěn na jednosměrné ulici	25	50	35	do 240 l
Standardní kontejner – umístěn na obousměrnou ulici	35	70	50	do 240 l
Velké kontejnery	60	120	90	1 100 l
Nadzemní kontejnery	180	300	250	se spodním výsypem
Podzemní kontejnery	200	480	300	
Operace s Abrollem ⁹	60	180	100	kontejner s okem
Operace s Abrollem (podzemní)	600	900	720	

Systém a typ sběru je klíčový při návrhu komplexních dopravních řetězců. Základní dělení systému svozu může být na základě jeho četnosti, četnost se může lišit dle sbírané komodity, tj. SKO, separované složky, bioodpadu a dalších. SKO je bývá sváženo jednou až dvakrát týdně na základě velikosti města a produkce odpadů, v případě separované složky se jedná o týdenní nebo dvoutýdenní svoz.

⁹ Typ kontejneru s „okem“ pro manipulaci hákového automobilu, fotografie je uvedena v kapitole 4.3

Je nutné zmínit, že čím vyšší četnost svozu je v daném městě realizována, tím vyšší náklady na svozový systém je nutné vynaložit. Prezentované TE modely dokáží pracovat s několika typickými systémy.

- **Varianta č. 1:** Door-to-door systém, který je typický především u rodinných domů, typickým výskytem je venkov nebo vilové zástavby ve městech či perifériích.
- **Varianta č. 2:** Obsluha sběrných hnízd, typické pro sídlištní zástavbu v jednom sběrném hnízdě je několik větších kontejnerů (typicky 1 100 l) buďto na jedno-druhový (např. SKO) odpad nebo sběrné hnízdo pro více komodit (SKO, papír, plast, sklo, jiné).
- **Varianta č. 3:** Obsluha podzemních resp. polo-podzemních kontejnerů. Jedná se o variantu, která je velmi podobná variantě č. 2, avšak z hlediska dispozičního, prostorového a estetického se jedná o moderní krok, který nahrazuje zastaralá prostorově náročná sběrná hnízda. Velkou výhodou je především zajištění nových parkovacích míst v sídlištích a estetické navýšení objemu sběrných nádob (podzemních kontejnerů).
- **Varianta č. 4:** Obsluha moderních SMART systémů, které lze nalézt ve Waste Managment 4.0. Jedná se zejména o systém MetroTaifun¹⁰.

Pro TE model svozu je klíčovou vstupní informací velikost nádoby, potřebný čas pro její obsluhu (tab. 4) a především systém obsluhy vybrané nádoby. Popelářské vozy se standardním systémem nástavby (lineární nebo hydraulický lisovací systém) dokáží obsloužit především klasické sběrné nádoby, které jsou známé především z domácností (240 l nádoba) či sběrných hnízd (nádoby o objemu 1 100 l). V případě zvonových, podzemních a polo-podzemních kontejnerů je nutné, aby svozový automobil byl vybaven i hydraulickou rukou. Specifickým svozovým systémem je tzv. hákový nakladač, který sváží velkoobjemové kontejnery např. ze sběrného střediska nebo z moderního systému MetroTaifun.

V roce 2018 byla na téma systémů sběru vypracována a úspěšně obhájena závěrečná práce [42]. Klíčovým výstupem této práce byl TE model provozu podzemních kontejnerů. Velkým přínosem byla především variabilita celkového systému (možnost libovolného uspořádání kontejnerů, velikost i počet na stanovišti). Výstupem byla ekonomická rozvaha o náročnosti systému. Ukázka ekonomické náročnosti na vybudování podzemních kontejnerů je zobrazena na obr. 10.

¹⁰ Dostupné z <http://www.metrotaifun.com/>

Podzemní kontejnery 3m ³ : Techicko-ekonomický model				
Položka			Cena celkem [Kč]	
Celkem zemní práce			53 405,92	
Celkem základy			21 436,73	
Celkem podzemní kontejnery			646 200,00	
Celkem komunikace			15 883,81	
Celkem transport hmot			33 645,24	
Celkem přidružené práce			21 000,00	
Celkem ostatní náklady			61 300,00	
Celkem vedlejší rozpočtové náklady			68 229,74	
Celkem			921 101,43	

Podzemní kontejnery				
PK s odklopnou vhozovací šachtou 3m3	ks	4,00	133 500,00	534 000,00
Kamenná pochozí plocha	ks		5 000,00	0,00
Pochozí plocha gumového recyklátu	ks		5 000,00	0,00
Antigrafittová úprava vhozových šachet	ks		3 000,00	0,00
Reklamní banner umístěný na šachtě	ks		3 000,00	0,00
DUO kontejner (rozdělení bílé/barevné sklo	ks		8 000,00	0,00
Vhozová šachta z nerezové oceli	ks		8 000,00	0,00
Protihluková úprava kontejneru na sklo	ks		7 000,00	0,00
Elektrický otevíratelná pochozí plošina	ks		45 000,00	0,00
Čipové otírání vhozových šachet	ks	1,00	60 000,00	60 000,00
Protiskluzový barevný nátěr pochozí plošiny	ks		2 000,00	0,00
Instalace podzemního kontejneru 3m3	ks	4,00	12 000,00	48 000,00
Doprava podzemních kontejnerů	km	120,00	35,00	4 200,00
Celkem podzemní kontejnery			646 200,00	

Obr. 10: Ukázka výsledků z TE modelu pro podzemní kontejnery

Model byl dále rozšířen a lze konstatovat, že se jedná o velmi kvalitní pomůcku pro ekonomickou rozvahu vybudování podzemních kontejnerů.

MetroTaifun patří k nejmodernější automatický systémům pro sběr odpadu ve světě. Princip MetroTaifunu je takový, že dopravuje odpad a recyklovatelné materiály pneumaticky přes podzemní nebo nadzemní potrubí, které se může rozšířit až na vzdálenost 4 km od místa sběru odpadu. Společnost MetroTaifun vyvinula moderní řešení pro různé oblasti – velká, malá sídliště, nemocnice, obytné i průmyslové oblasti, nákupní centra, sportovní komplexy a další. Tento moderní a sofistikovaný systém sběru odpadu je realizován především v nově vybudovaných čtvrtích v Evropě a Asii. Pneumatický podzemní systém je využíván v lokalitách, kde tradiční sběr odpadu pomocí popelářských vozidel je neefektivní.



Obr. 11: Metrotaifun, vakuový systém sběru odpadu [43]

Při porovnání moderního systému sběru a sběru v systému door-to-door lze konstatovat, že moderní systém umožňuje svážet odpad méně často. Je přepravováno větší množství odpadu na základě možnosti lisování, není nutné zohlednit průjezdnost ulic pro svozové automobily a další. Největší komplikací MetroTaifunu jsou investiční a provozní náklady při srovnání se standardní systém (door-to-door). Řešitelský tým z univerzity v Helsinkách a výzkumné centrum z Finska provedli studii porovnávající standardní sběr s implementací systému MetroTaifun do vilové zástavby [43]. Byla zpracována velmi detailní studie proveditelnosti a výsledkem bylo porovnání nákladů:

- Standardní sběr: přibližně 1 900 Kč za 1 tunu odpadu.
- MetroTaifun: Přibližně 10 600 Kč 1 tunu odpadu.

3.5 Sypná hmotnost odpadů

Mezi stěžejní parametry výpočtového modelu patří sypná hmotnost. Je nutné korektně stanovit sypné hmotnosti, aby bylo možné vybrat vhodné dopravní systémy zejména pro SKO, separované složky KO nebo např. pro BIO odpad. Hmotnostní i objemová charakteristika odpadů se může lišit v oblasti různých typů zástaveb. Stanovené sypné hmotnosti jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Přehledová tabulka sypných hmotností a stanovených produkcí bio odpadu [33]

-	Druh odpadu	Objemová hmotnost a měrná produkce odpadu	Jednotka
1	SKO	100 až 350	kg/m ³
2	Papír	80	kg/m ³
3	Plast	10 až 80	kg/m ³
4	Sklo	250	kg/m ³
5	Kovy	1 500	kg/m ³
6	Nebezpečné složky	800	kg/m ³
7	Elektrošrot	600	kg/m ³
8	Pneumatiky	500	kg/m ³
9	Odpadní dřevo	400	kg/m ³
10	Stavební odpad	1 000	kg/m ³
11	Odpady ze zeleně (i neveřejné)	30 až 40	kg ha/týden
12	Odpad z údržby veřejné zeleně	180	kg/m ³
13	Odpad ze hřbitovů	350	kg/m ³
14	Uliční smetky	100 až 150	kg ha/týden

Nejdůležitější sypnou hmotností je hmotnost SKO, kterou je velmi komplikované stanovit a ovlivňuje ji velké množství parametrů. Dle provedených rozborů je odhadnuta sypná hmotnost na hodnotu v rozmezí 200 – 250 kg/m³ pro volně ložený odpad [34], [35]. Odborníci z třídících linek (Olomouc¹¹, Přerov¹²) uvádějí téměř poloviční číslo volně loženého odpadu a to přibližně 100 – 200 kg/m³. Odpověď na sypnou hmotnost by měl nalézt projekt MŽP TIRSM¹³, kde jedním z cílů projektu je analýza složení odpadů, kdy bude docházet k frakčním a hmotnostním analýzám.

Tento rozdíl v odhadu sypné hmotnosti pro SKO je markantní, a to z důvodu stanovení systému pro nelisovaný odpad (Návěs Wlaign Floor o objemu 90 m³). V případě, že by bylo uvažováno 100 kg/m³ (9 t) a 350 kg/m³ (31,5 t) je to více jak trojnásobný rozdíl. Nastával by problém v kontextu legislativy (celková váha jízdní soupravy, resp. zatížení na nápravu), dále by bylo nutné řešit zakázkou výrobu Walking Flooru¹⁴ pro požadované zatížení (více náprav a celkově odlehčený návěšový systém). Z tohoto hlediska, je zcela patrné, že více jak 300 kg/m³ je značně nadhodnocená hodnota z pohledu volně loženého odpadu, a tedy provedené analýzy lze považovat za zkreslené. Je to z důvodu odběru vybraných frakcí při analýzách SKO, které jsou zpětně promíchány a upěchovány na váhu, a dle analýz je vytvořen homogenní vzorek. Kdežto SKO, lze jen velmi obtížně považovat za homogenní směs už jen v kontextu ročního období, vývoje počasí či teploty. Analýzy by bylo nutné provádět v dlouhodobém hledisku min.

¹¹ Technické služby města Olomouce, a.s., Ing. Pavel Musil

¹² Technické služby města Přerova, s.r.o., Bc. Zdeněk Rybka

¹³ Dostupné na <https://www.mzp.cz/cz/projekty>

¹⁴ Velkoobjemový návěs s objemem až 90 m³ s posuvnými ližinami pro samovolnou vykládku materiálu – vhodné pro sypké i paletové materiály

po dobu 2 let, alespoň dvakrát do měsíce a z více typů zástaveb, aby bylo možné provést relevantní odhad sypné hmotnosti SKO – cíle projektu MŽP TIRSM.

Z výše uvedené argumentace bylo vycházeno pro úvahy s nelisovaným odpadem se sypnou hmotností cca 230 kg/m³ pro Walking Floor. Zbylé odhadnuté sypné hmotnosti sumarizuje tab. 5 – uvedené hodnoty byly stanoveny na základě kombinace uvedených analýz, diskuzí s odborníky a vlastního pohledu na danou problematiku.

4 Komplexní dopravní systémy v odpadovém hospodářství

Aby bylo možné identifikovat komplexní dopravní systémy, je nutné tyto systémy správně nadefinovat. Tato kapitola se bude zabývat jejich základní popis. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.2 v časovém plánu na obr. 5, připravované modely se budou zabývat prioritně následujícími typy dopravy:

- Silniční doprava.
- Železniční doprava.
- Kombinovaná doprava (silniční + železniční doprava).

4.1 Silniční doprava

Silniční doprava je nejvyužívanější systém dopravy na kratší vzdálenosti (do 200 km) nejen na území České republiky. Patří k flexibilním a rychlým systémům, které mohou být provozovány v rámci celého týdne a v libovolnou denní hodinu (ovlivněno přepravovanou komoditou, např. výrobek podléhající okamžité spotřebě či expresní dopravě).

Základní princip silniční dopravy komunálního odpadu je zobrazen na obr. 12, kde jsou uvažovány dva základní řetězce pro:

- Lisovaný odpad.
- Nelisovaný odpad.



Obr. 12: Základní schéma silniční dopravy komunálních odpadů

V obou řetězcích je **jednotný systém sběru odpadu** za pomoci svozových automobilů (např. druhotná surovina či objemný odpad) nebo KUKA vozů (automobil s lisovací nástavbou pro možnost lisování odpadu na nástavbě a odvezení většího množství v rámci jednoho cyklu). Odpad je v obou případech svezon na překládací stanici, kde je dále přeložen na jízdní soupravy. **Překládací stanice** je místo, kde dochází k přeložení odpadu ze svozových vozů do velkoobjemových kontejnerů. Může se jednat o systém s lisovacím zařízením – efektivní doprava s větším množstvím odpadu v kontejneru v rámci jednoho dopravního cyklu nebo pouze

s překládkou odpadu do velkoobjemových kontejnerů (objem až 50 m³) či návěsů (objem až 90 m³).

Přeložení odpadu na překládací stanici:

- **Lisovaný odpad** – využití lisovací stanice, kde za pomoci přímé násypky či dopravníku je odpad dopravován do komory s beranem a beran následně tlačí (až 20 cyklů pro naplnění kontejneru v návaznosti na velikosti komory a požadované hmotnosti kontejneru s odpadem) odpad do lisovacích kontejnerů (běžně jsou využívány kontejnery o objemu 30 m³).
- **Nelisovaný odpad** – za pomoci manipulační techniky (přední nakladač s velkoobjemovou lžící a objemem např. 3 m³) je odpad naložen do velkoobjemových kontejnerů nebo do návěsového systému Walking Floor.

Odvozová část je řešena za pomoci nákladních automobilů, jízdních souprav nebo tahačů. Každý způsob odvozu má své klady a zápory a pro daný systém je nutné znát nejvhodnější variantu. Varianta je ovlivněna legislativními omezeními (celkové zatížení, rozměry, technická obslužnost) a také je nutné klást důraz na celkovou ekonomickou stránku věci.

4.2 Železniční doprava

Železniční doprava je značně diskutovanou záležitostí v oblasti dopravy na větší vzdálenosti. Železniční dopravu je zajímavé zahrnout do pokročilých modelů, protože se jedná o potenciální dopravní úlohy na mezinárodní úrovni, při úvahách transportu odpadů přes více států. Kromě uvedené dálkové dopravy je nutné brát v potaz i potenciální výhodnost železniční dopravy na národní úrovni. Např. Německo či Rakousko, při výstavbě EVO zařízení jsou vázáni dopravní obslužností až 95 % pouze po železnici – i za předpokladu, že ekonomika daného druhu dopravy je záporná (nerentabilní bez další podpory – dotace, podpora kraje, soukromého subjektu). Dalším „zeleným“ aspektem je ekologicky zajímavá varianta pro dopravu – minimum tvorby emisí, hluková zátěž aj. Tyto argumenty jednoznačně vedou k otázkám, zda je tomu tak, či nikoli.

Základní princip železniční dopravy je zobrazen na obr. 13, mezi hlavní prvky řetězce patří následující:

- **Svozová část** – svozový automobil nebo KUKA vůz.
- **Překladištní část** – překládací stanice s lisovacím zařízením, s přímou manipulační schopností (vykládkou/nakládkou) na železniční systém.
- **Odvozová část** – Souprava železničního systému v uspořádání lokomotivy a několika vagonů s nalisovanými kontejnery.
- **Vykládací část** – manipulační schopnost vykládky dopravených kontejnerů do zařízení EVO s přímou možností výsypu do bunkru a následná nakládka prázdných kontejnerů na železniční systém.



Obr. 13: Základní schéma železniční dopravy

Bylo zjištěno, že železniční doprava je v porovnání se silniční dopravou ekonomicky náročnější z pohledu pořizovacích nákladů, např. lze uvést, že pořizovací náklady na lokomotivu (bez zohlednění, zda se jedná o lokomotivu tlačnou či tažnou) jsou 100 mil. Kč a více. Tato vstupní investice je diametrálně rozdílná, jak v případě silniční dopravy (nákladní automobil cca 3,5 mil. Kč). Z tohoto důvodu, bude muset být TE model železnice vytvořen v kontextu dvou scénářů:

- **Nákup** železniční soupravy (lokomotiva + vybraný počet vagónů + vhodně zvolené kontejnery).
- **Pronájem** železniční soupravy v analogickém uspořádání.

Porovnání nákupu a pronájmu v silniční dopravě bylo provedeno v bakalářské práci [41]. Dalším odlišným parametrem, při srovnání se silniční dopravou, je oblast legislativy, která klade důraz na jiné aspekty. Např. z pohledu pracovní doby řidičů, železniční doprava 13 h/den, v případě silniční dopravy max. 10 h/den a to za velmi specifických podmínek (bez penalizací a s jednotnou celotýdenní pracovní dobou se jedná o 8 h/den). I tato „banální“ hodinová pracovní doba je dominantní v oblasti dopravních úloh, protože důraz je kladen na provozní čas.

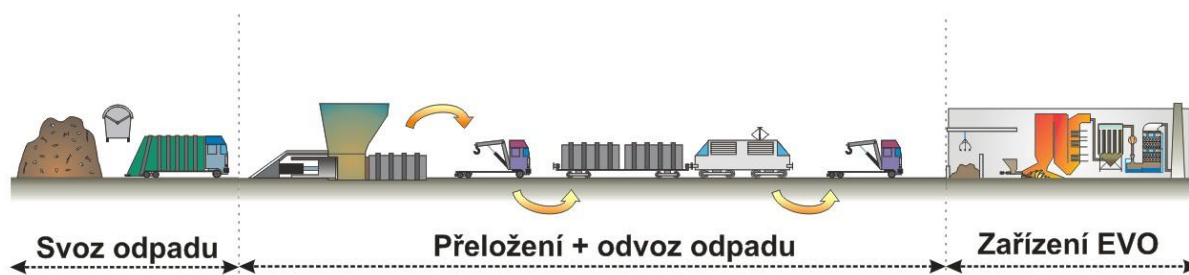
Největší odlišností od silniční dopravy je obsazenost dopravních železničních cest. Jedná se o parametr, kdy s železniční soupravou nelze libovolně vjet do železničních koridorů, jak by to bylo z pohledu provozovatele nejvhodnější. Je potřeba celkovou dopravní trasu naplánovat a zajistit průjezdnost, tzv. zajistit propustnost železničních dopravních sítí. Na úrovni ČR tuto problematiku přiděluje např. Správa železničních dopravních cest¹⁵ (dále jen „SŽDC“). V případě, že provozovatel nevyužije dopravní cestu nebo ji stornuje, je nucen zaplatit poplatek za nevyužití dopravní cesty. V případě, že provozovatel náhle potřebuje využít dopravní cestu, je zařazen do tzv. čekacího režimu na uvolnění a následné přidělení dopravní cesty. Toto „expresní“ přidělení je zpoplatněno a za tento uhrazený poplatek, může jednorázově využít dopravní cestu či hranu. Ekonomicky nejvhodnější variantou je dlouhodobý plán pro zajištění dopravních cest, toto je vhodné řešení pro celoroční kontinuální toky. V případě nestálosti toků, může tento dlouhodobý plán být spíše negativním krokem z důvodu častého rušení rezervovaných dopravních cest a následně objednávání nových dopravních cest. Propustnost

¹⁵ <https://www.szdc.cz/default.html>

nákladní dopravy je nevhodnější v nočních hodinách, kdy dopravní cesty nejsou využívány osobní či expresní dopravou, která má přednost před dopravnou nákladní.

4.3 Kombinovaná doprava

Kombinovaná neboli intermodální doprava bude řešena v oblasti propojení silniční a železniční dopravy – základní řetězec je zobrazen na obr. 14. Toto bude zajištěno v návaznosti na vytvořené modely a vybrány nejvhodnější dopravní elementy, které zajistí kombinovanou dopravu. Již je zřejmé, že důraz bude kladen na operační mobilitu celkového řešení, protože modely budou postaveny na základě zkušeností společnosti Inno freight¹⁶, která dlouhodobě provozuje intermodální dopravu. Společnost Inno freight prioritně řeší kombinovanou dopravu a má k tomu uzpůsobeny i celkovou technologii dopravy. Jedná se zejména o odlehčené vagóny, kontejnery pro operační schopnost manipulační technikou, tak pevné ukotvení na vagóny. Speciálně vyvinuté a patentované technologické prvky pro překladištní velkoobjemovou nakládku kontejnerů. Cílem technicko-ekonomického modelu intermodální dopravy je nalezení optimálního objemového toku, kdy tento typ dopravy bude ekonomický a dopravně výhodný.



Obr. 14: Základní schéma kombinované dopravy

Reálný pohled na manipulační schopnost hákového automobilu s lisovacím kontejnerem z železničního systému je zobrazen na obr. 15. Z obrázku je patrné, že vytipovaný automobil je ideální volbou pro manipulační schopnost a není potřeba další manipulační technika např. přední kolový nakladač s vidlemi nebo jeřábový systém.

¹⁶ Dostupné z <https://www.innofreight.com/>



Obr. 15: Reálný pohled na manipulační schopnost v kombinované dopravě

4.4 Zařízení pro zpracování odpadů

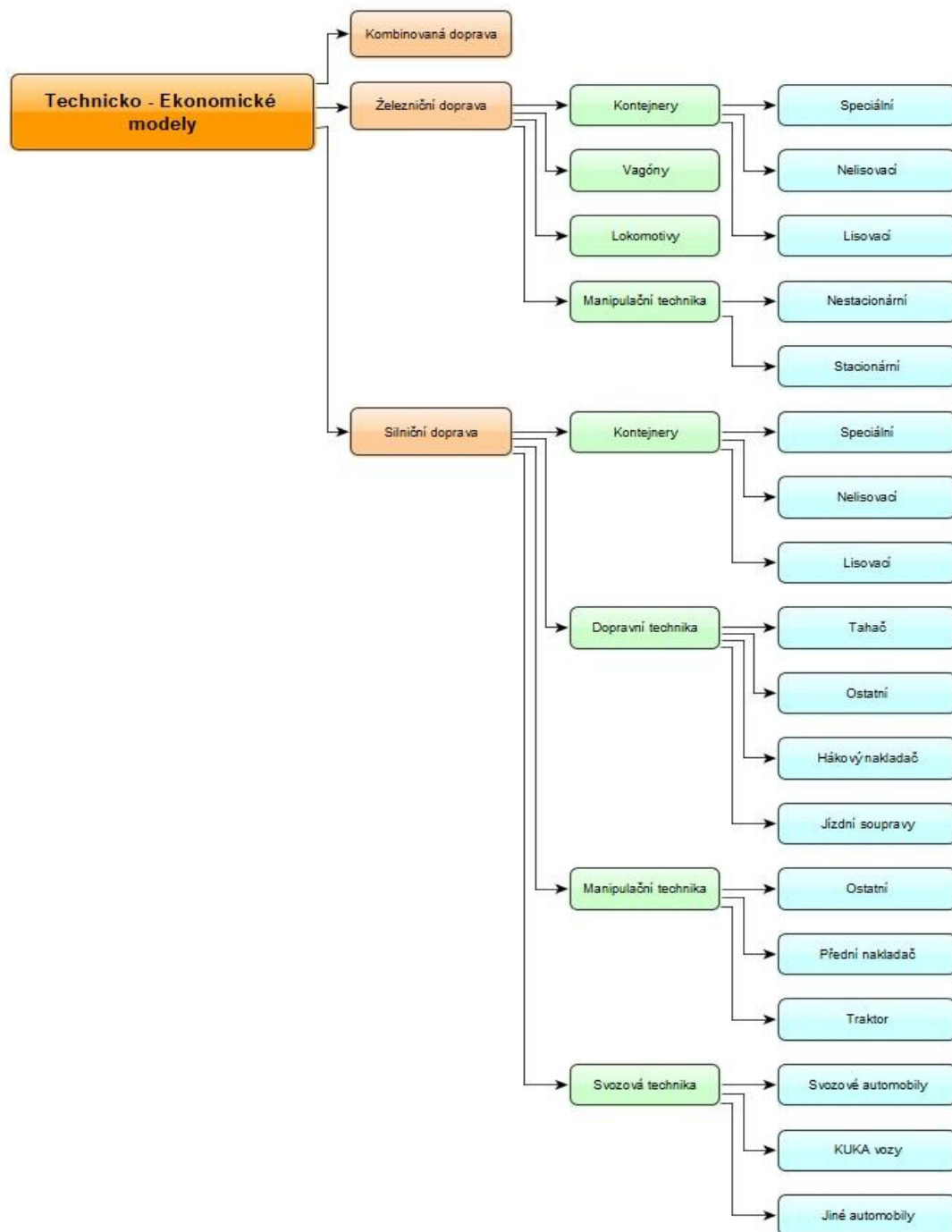
Pro relevantní hodnocení komplexních dopravních řetězců v oblasti nakládání s odpady je nutné, kromě logistiky, se zabývat i zpracovatelskými zařízeními. Mezi klíčová zařízení patří:

- Koncová zařízení
 - Recyklační závody
 - Zařízení EVO
- Zpracovatelská zařízení
 - Třídící a dotřídňovací linky
 - Kompostárna
 - Mechanicko biologická úprava
 - Čistírna odpadních vod

Tato zařízení je nutné dokázat analyzovat a zasadit je do komplexního hodnocení. Zasazení do konceptu celkového řetězce a stručný popis zařízení je provedeno v kapitole 6, případové studii č. 3.

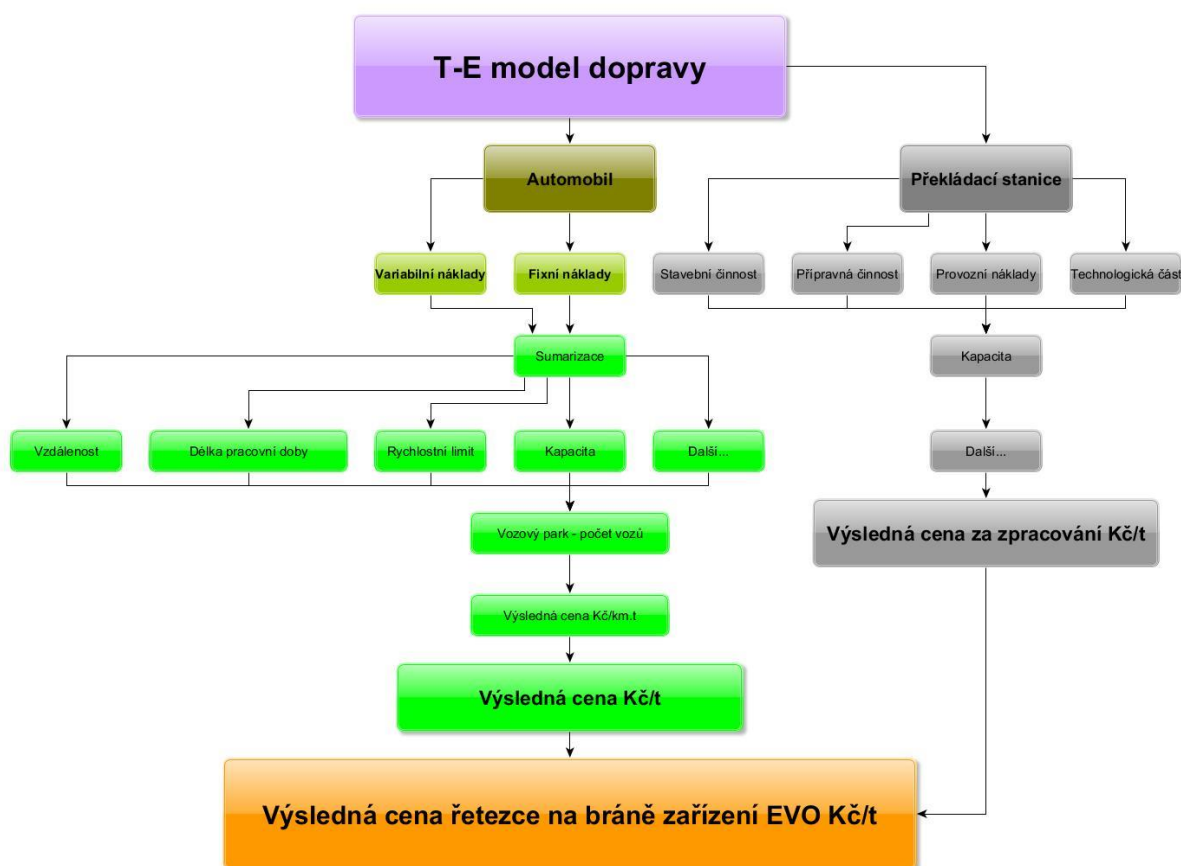
5 Struktura a popis TE modelů v odpadovém hospodářství

Vzhledem k nutné znalosti a následné vhodné implementaci požadovaných dopravních výstupů do nástroje *NERUDA*, bylo nutné vytvořit odpovídající TE dopravní modely, které jsou schopny korektně popsat požadované vstupní veličiny. Jejich základní struktura je patrná z obr. 16. Dopravní modely se zaměřují na silniční, železniční a kombinovanou dopravu a lze očekávat, že do budoucna budou schopny řešit různé scénáře na základě požadovaných dopravních prvků, které hrají důležitou roli v oblasti nakládání s odpady.



Obr. 16: Prvky logistických řetězců, pro které budou vytvořeny technicko-ekonomické modely

Schéma na obr. 17 nastiňuje základní strukturu TE model silniční dopravy s možností překládací stanicí, na kterém budou předvedeny základní výstupy. Aktuálně je složen ze tří částí – svozová úloha (popelářské vozy), odvozová úloha (jízdní soupravy) a překládací stanice. Popelářské vozy a jízdní soupravy jsou v diagramu souhrnně označeny jednotnou položkou automobily vzhledem k velmi podobné struktuře vlastního modelu.



Obr. 17: Zjednodušené schéma technicko-ekonomického modelu silniční dopravy

Cílem tohoto popisu je vytvoření komplexního řetězce navazujících činností, tj. řetěz popisující sběr, přeložení a odvoz odpadu. Je tedy nutné vytvořit scénáře se sběrnými automobily či KUKA vozy, překládací stanicí a vhodnými odvozovými automobily až k bráně zařízení EVO.

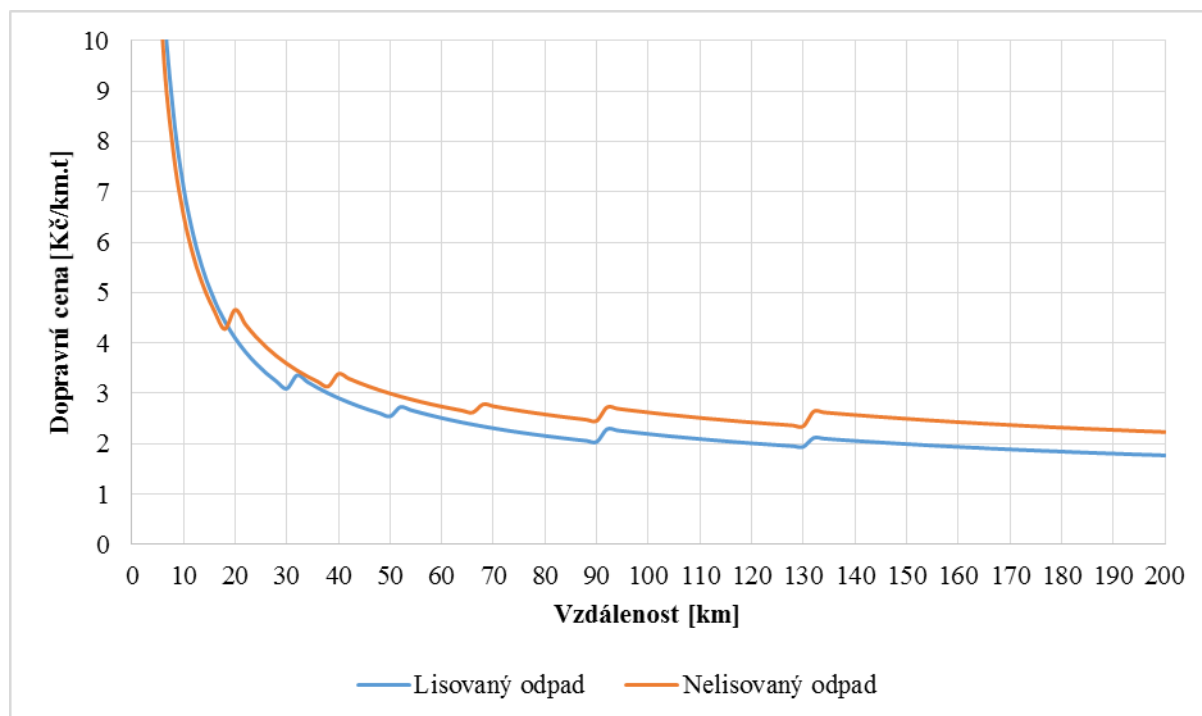
5.1 Základní ekonomické výstupy z TE modelů

Základní prezentace výstupů má dvě varianty provedení:

- Krokově generované náklady.
- Jednotkové dopravní náklady.

Krokově generované náklady jsou předvedeny v grafické podobě (obr. 18). Hlavním předpokladem je možnost zvolení jednotkového kroku, tj. počet km a množství přepravovaného odpadu. Pro základní ukázkou byl vybrán scénář s maximálním uvažovaným množstvím přepraveného odpadu 100 kt/r na dopravní vzdálenosti cyklu do koncového zařízení až 200 km

(celkový cyklus tam i zpět 400 km). Jedná se o systém jízdní soupravy (odvozová část) pro lisovaný a nelisovaný odpad. Z vyčíslení jsou patrné skoky na křivkách, které charakterizují nutnost rozšíření vozového parku (vyšší investice). Dřívější rozšíření vozového parku je v případě nelisovaného odpadu z důvodu menší přepravní kapacity (cca 21 t na jedné soupravě), jak v případě odpadu lisovaného (cca 25 t na jedné soupravě).



Obr. 18: Vyčíslení dopravních nákladů pro lisovaný a nelisovaný odpad – 100 kt/r

V případě jednotkových dopravních nákladů se jedná o vyčíslení přesného scénáře, kdy je známá dopravní cesta a je požadavek na vyčíslení nákladů v jednotce Kč/t nebo Kč/km.t. Tyto výstupy využívá nástroj *NERUDA*, který na základě variabilní nebo fixní ceny za dopravu provádí optimalizační úlohu. Taktéž lze na základě vygenerování variabilních cen za dopravu, přesněji stanovit fixní cenu, která vstupuje do nástroje *NERUDA*.

TE modely aktuálně dokáží vyčíslit ceny dopravy pro následující dopravní prvky (pro každý dopravní prvek je vytvořen samostatný TE model):

- **Svozová část**
 - Kuka vůz – MAN TGM 18.250 (dvounápravový vůz, HALLER X-2 M-15, lineární lis)
 - Kuka vůz – MAN 18.255 (dvounápravový vůz, HALLER X-2C M-13, lineární lis)
 - Kuka vůz – SCANIA P 320 (třínápravový vůz, CROSS 21,5, lineární lis)
 - Kuka vůz – MAN D 2066 (třínápravový vůz, HALLER X-2C M-19, lineární lis)
 - Kuka vůz – MAN D 2066 (třínápravový vůz, HALLER X-2C M-2T, lineární lis)

- Kontejnerový valník pro druhotnou surovinu – libovolná varianta kontejneru
- Multicar M30 Fumo (multikára)
- IVECO Daily 4x4 Farid Micro L
- Dvounápravový RENAULT Mascott 160.65
- Dvounápravový ramenový nosič kontejnerů MERCEDES-BENZ Atego 1224 K - vanový
- **Odvozová část:**
 - Jízdní souprava s přívěsem – libovolná varianta kontejneru
 - Tahač s návěsem typu Walking Floor
 - Hákový automobil s přívěsem – libovolná varianta kontejneru
 - Nákladní automobil s kontejnerem – libovolná varianta kontejneru

5.2 Silniční doprava – Svozové systémy

Na základě požadavku řešení komplexního dopravního řetězce, je sběr a svoz odpadu nedílnou součástí. Popelářské vozy neboli KUKA vozy jsou na současném trhu dostupné v mnoho typových provedeních. Mezi jejich stěžejní parametry patří typ lisovací nástavby, objem nástavby, přídatná zařízení, jako např. hydraulická ruka, výkon vozu a další. V případě, že popelářský vůz disponuje hydraulickou rukou, jedná se o velký přínos automobilu (univerzálnost), protože lze jej využít např. pro obsluhu podzemních kontejnerů či údržbu města. Nevýhodou je vyšší hmotnost celkového vozu, která je zapříčiněna výztuhou nástavby a samozřejmě samotné hydraulické ruky.

Výkon vozu je důležitý z pohledu typu nástavby:

- Lineární lisovací nástavba.
- Rotační lisovací nástavba.

KUKA vozy s rotačním lisem jsou méně náročné na požadavky výkonu svozového vozidla, z tohoto důvodu bývají často využívány ve spojení s **alternativním palivem**. Testování vozidel na CNG zkouší společnost Pražské služby a.s., výhodou použití CNG jsou teoreticky nižší provozní náklady, které korespondují i s nižší produkcí emisí. Na druhou stranu je nutné počítat s vyššími náklady na servisní práce a celkovou údržbu systému. Praktická nevýhoda pohonu na CNG je utlumení výkonu, z tohoto důvodu CNG bývá kombinován s rotačním lisem, který není tak náročný na výkon jako lineární lis. V kontextu alternativních paliv byla na VUT vypracována habilitační práce Doc. Klapky (Téma práce: Rekuperační modul pro těžká podzemní vozidla), která testovala v laboratorních podmínkách hybridní pohon a teoreticky jej přenášela do reálných simulací. Testování probíhalo ve spojení s firmou Bosch Rexroth¹⁷, která byla projektovým partnerem (Rekuperační hydrostatický modul pro užitková vozidla¹⁸). Hybridní pohon s rekuperační jednotkou je velmi zajímavé řešení, protože vozidla bývají osazena velmi malými akumulátory, které mají pozitivní dopad na celkovou hmotnost vozidla (extrémně vozidla nepřetěžují). Současně funkčnost a hlavní princip rekuperačních jednotek,

¹⁷ Dostupné z <https://www.boschrexroth.com/cs/cz/>

¹⁸ Dostupné z https://www.vutbr.cz/vav/projekty/detail/23462?aid_redir=1

kdy na základě brzdění a plynulých dojezdů (klíčové pro popelářské vozy) lze baterie efektivně dobíjet. Aktuálně se ve světě objevují i čistě elektrické popelářské vozy s dojezdem až 200 km, pro představu jsou zde využity akumulátory o hmotnosti více jak 4 t [44].

Taktéž je potřeba připomenout legislativní omezení na základě počtu náprav (kapitola 3.1) a omezení od výrobců v případě celkové hmotnosti vozidla. Pro obecný příklad platí:

- Dvouosý popelářský vůz (18 t), pohotovostní hmotnost 10 – 12 t, užitková hmotnost 6 – 8 t.
- Tříosý popelářský vůz (26 t), pohotovostní hmotnost 12 – 16 t, užitková hmotnost 10 – 14 t.

Využití KUKA vozů pro sběr a ideálně co nejkratší nájezdový počet kilometrů na nejbližší překládací stanici nebo zpracovatelské zařízení je racionálním a nejvhodnějším řešením. Především z důvodu poměrně malé přepravní kapacity KUKA vozů, která dosahuje maximálně 10 t s využitím lisovacího systému (příklad je uveden pro třínápravový vůz s celkovou provozní hmotností cca 26 t a nástavbou o velikosti 23 m³) a tedy provozní náklady při přepočtu na 1 t jsou poměrně vysoké. Negativní stránkou při využití KUKA vozů na větší nájezdové vzdálenosti je spotřeba PHM (v provozu je reálně se pohybovat v rozmezí 60 – 100 l na 100 km), malá kapacita nástavby (tento fakt se negativně projevuje na celkových nákladech při přepočtu na 1 t odpadu) a v neposlední řadě mzdové náklady posádky (řidič a obsluha). Ideální řešením je odpad rychle posbírat a v co nejkratším možném čase odpad odvézt a vysypat na místo k tomu určenému. KUKA vůz je nutné využívat cíleně pro sběr odpadu s minimální ztrátou z pohledu prostojů nebo nutných pojezdů.

TE model KUKA vozů byl vytvořen takovým způsobem, že byly stanoveny fixní a variabilní náklady, které na základě vybraných parametrů (pracovní doba, průměrná rychlost, fond pracovní doby, další) připravovaly vstup do optimalizačního a bilančního modelu pro stanovení celkových nákladů. V závislosti na požadované zpracované kapacitě a svozové vzdálenosti byl stanoven vozový park, který zajistí sběr a následný odvoz odpadu na určené místo. Byla vytvořena databáze celkem 10 typů popelářských vozů. Databáze byla vytvořena rešerší, provozními nebo zcela teoretickými daty. Část TE model svozu je ilustrována na obr. 19.

[illegible]

Obr. 19: TE model svozu, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel

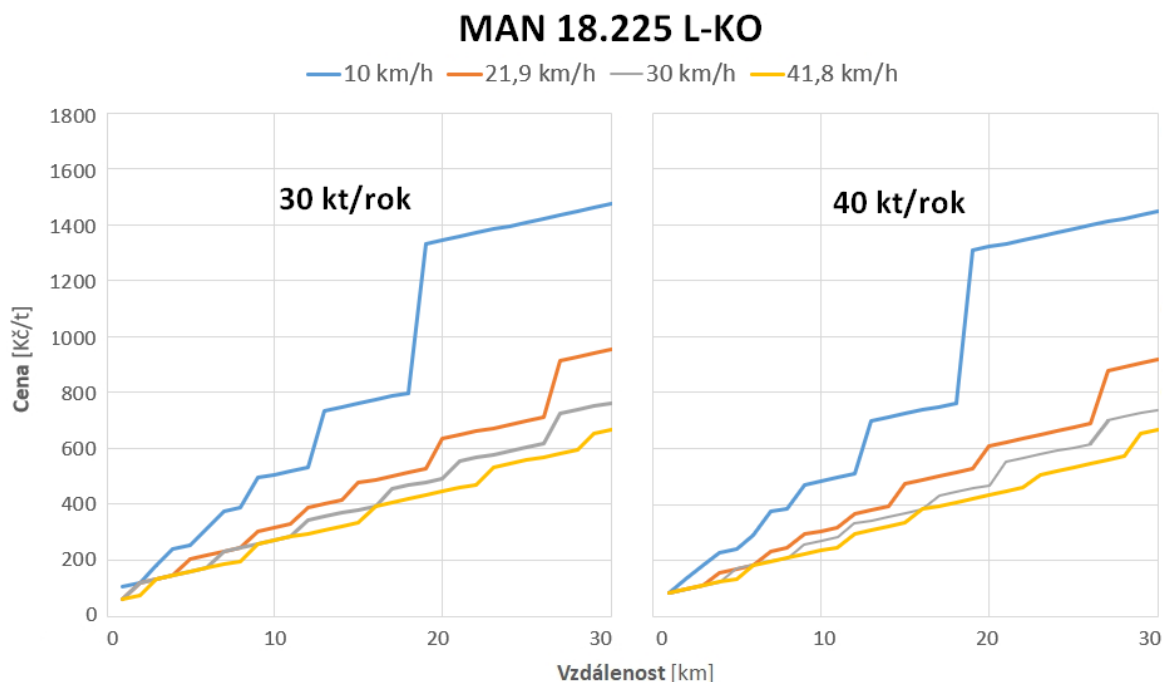
Model využívá prostředí VBA pro krokové generování nákladů a vyčísluje základní ekonomické parametry, kterými jsou:

- Měrné náklady: Kč/t, Kč/kmt.
- Náklady na vozový park, životnost, fiskální rok, zahrnutí odpisů.
- Fixní a variabilní náklady.

Model dokáže zohlednit denní vytíženost vozidel a klíčovým parametrem je průměrná rychlost svozu. Rychlost svozu je ovlivněna několika parametry:

- Časovou obslužností nádob na základě komodity, typu a velikosti.
- Průměrná délka svozové trasy a zdržení na trase.
- Časová náročnost dalších operací: vykládka, příprava na depu
- Další časové parametry.

Jak je patrné z obr. 20, rozdíly v ekonomice, při zohlednění průměrných rychlostí jsou značné. Průměrná rychlost je jeden z volitelných parametrů, který vstupuje do výpočtu. Detailní zpracování a posouzení dostupných údajů o průměrné rychlosti bylo provedeno v bakalářské práci [41].

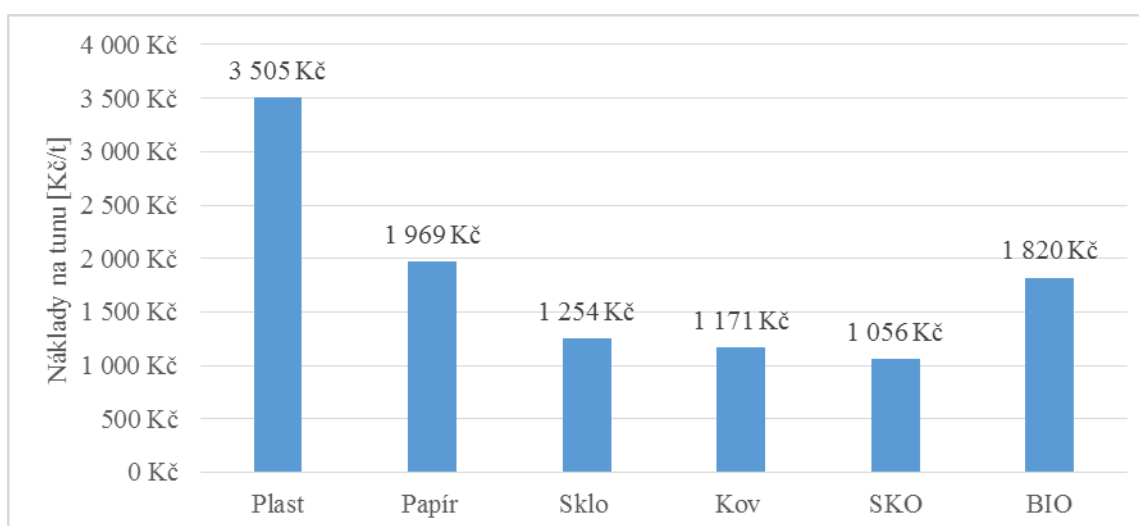


Obr. 20: Ukázka rozdílů nákladů při různých průměrných rychlostech pro vůz MAN 18.225 L-KO [41]

Lze stanovit vytížení vozidel (denní/týdenní/měsíční/roční) na základě přepravovaného množství a vzdálenosti. Dalším klíčovým parametrem je sypná hmotnost odpadu, tj. maximální zatížení automobilu, resp. max. odvezené množství. Vzhledem k různé objemové i sypné hmotnosti, jak bylo popsáno v kapitole 3.5, lze modelovat libovolné scénáře pro vybrané komodity. Model dokáže vyhodnotit následující komodity:

- Směsný komunální odpad (SKO).
- Bio odpad – separovaně sbíraný.
- Plast – separovaně sbíraný.
- Papír – separovaně sbíraný.
- Sklo – separovaně sbíraný.
- Kov – separovaně sbíraný.
- Sběr pouze suché složky známé jako Dry Recyclables (jedna nádoba na papír, plast, sklo, kov). [57]

Ukázka průměrných nákladů vztažených na jednu tunu, pro vybrané separovaně sbírané odpady, je zobrazena obr. 21.



Obr. 21: Srovnání nákladů na svoz pro různé komodity

V modelu lze volit libovolně komoditu, druh přepravy a typové nádoby, které jsou obsluhované - obr. 22. Výstupy jsou zpracovány v časovém modelu, z kterého vyplývá, že reálné svozové rychlosti se pohybují v intervalu 5 – 15 km/hod. Vše se odvíjí od infrastruktury, nájezdového počtu km, obsluhy nádob a další.

Zaokrouhlování						
Nutný počet cyklů za rok	822	599	234	195	215	[cyklů/rok]
Počet aut - pro odvoz odpadu	4	2	1	1	1	[počet vozů]
Náklady na rok - vozový park	5 944 946,00	3 431 807,00	1 998 322,00	1 639 915,00	1 510 420,00	[Kč - voz. park]
Cena na 1 t	2 972,47	1 715,90	999,16	819,96	755,21	[Kč - 1t]
Náklady na svozovou trasu	7 232	5 729	8 540	8 410	7 025	[Kč - trasa]
Fixní náklady za rok/voz. Park	5 128 700 Kč	2 837 000 Kč	1 692 250 Kč	1 405 038 Kč	1 251 453 Kč	[rok]
Variabilní náklady za rok/voz. Park	816 246 Kč	594 807 Kč	306 072 Kč	234 878 Kč	258 968 Kč	[rok]
Celkové náklady za rok/voz. Park	5 944 946 Kč	3 431 807 Kč	1 998 322 Kč	1 639 915 Kč	1 510 420 Kč	[rok]
Náklady Kč/km.t	99,08 Kč	57,20 Kč	33,31 Kč	27,33 Kč	25,17 Kč	[Kč/km.t]
Zaokrouhlování - bez mzdových nákladů						
Vytíženost automobilů za rok	3,1615	1,1519	0,4500	0,2500	0,4135	[počet vozů]
Náklady na rok - vozový park	5 290 946	2 770 307	1 417 522	1 054 915	1 052 920	[Kč - voz. park]
Cena na 1 t	2 645,47	1 385,15	708,76	527,46	526,46	[Kč - 1t]
Náklady na svozovou trasu	6 437	4 625	6 058	5 410	4 897	[Kč - trasa]
Náklady Kč/km.t	88,18	46,17	23,63	17,58	17,55	[Kč/km.t]
Teoretické vytížení na základě roku - pouze pro danou komoditu						
Vytíženost vozového parku za den	3,1615	1,1519	0,4500	0,2500	0,4135	[počet vozů]
Náklady na rok - vozový park	4 869 892	2 228 810	1 067 585	586 137	776 395	[Kč - voz. park]
Cena na 1 t	2 434,95	1 114,40	533,79	293,07	388,20	[Kč - 1t]
Náklady na svozovou trasu	5 924	3 721	4 562	3 006	3 611	[Kč - trasa]
Náklady Kč/km.t	81,16	37,15	17,79	9,77	12,94	[Kč/km.t]
Kontejnery charakteristiky + náklady						
Komodita - zvol	Plast	Papír	Sklo	Kov	SKO	[]
Druh přepravy - zvol	Lisovaný odpad	Lisovaný odpad	Lisovaný odpad	Lisovaný odpad	Lisovaný odpad	[typ]
Kontejner - zvol	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	[m3]
Sypná hmotnost	150	260	400	550	450	[kg/m3]
Množství odpadu v kontejneru	19,8	44,55	118,8	396	158,4	[kg]
Koeficient pro dopravu	3	2	1	1	1	[]
Max. zatížení auta na základě komodity	2,445	3,380	8,600	10,450	9,450	[kg]
Teoretický počet výsypů na auto	123	75	72	26	59	[výsypů na auto]
Teoretický počet výsypů - produkce	101 011	44 894	16 836	5 051	12 627	[výsypů za rok]
Počet obslužených kontejnerů za den	389	173	65	20	49	[výsypů za den]
Počet obslužených kontejnerů na auto	97,3	150	144	80	119	[výsypů na auto]
Průměrné náklady na kontejner	48,166	49,612	63,366	115,609	61,206	[Kč/kontejner]
Průměrné náklady na kontejner za rok	48,211	49,646	63,411	116,044	61,487	[Kč/kontejner]
Časový model						
Zdržení v rámci obsluhy kontejneru	90	90	90	90	90	[s]
Celkové zdržení na trase - manipulace	11 070	6 750	6 480	2 340	5 310	[s]
Průměrná rychlost v oblasti	19	19	19	19	19	[s]
Délka jízdy	5 684	5 684	5 684	5 684	5 684	[s]
Vykładka vozidla	10	10	10	10	10	[min]
Procentuální zdržení na trase	5%	5%	5%	5%	5%	[%]
Celková délka cyklu	18 222	13 686	13 402	9 055	12 174	[s]
Celková délka cyklu	5,06	3,80	3,72	2,52	3,38	[hod]
Celková průměrná rychlost svozu	5,93	7,89	8,06	11,93	8,87	[km/hod]
Počet cyklů na základě převezeného množství	822	599	234	195	215	[cyklů/rok]
Počet denních cyklů	1	2	2	3	2	[cyklů/den]
Počet aut	4	2	1	1	1	[počet vozů]

Obr. 22: TE model svozu, časový model s možností volby druhu přepravy, svážené komodity a obslužené nádoby, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel

Další možností v případě svozu jsou bilanční model pro naplněnost svozových nádob, kontejnerů a nástaveb popelářských vozů, zobrazení na obr. 23.

Tyto koeficienty definují max. hmotnost naloženého odpadu, např. bude-li využita nástavba svozového vozu o objemu 23 m³, bude známo max. zatížení odpadem, tj. 9 t. Takové vozidlo odveze maximální následující hmotnosti:

- Plast – 3 t (koeficient 3).
- Papír – 4,5 t (koeficient 2).
- Sklo – 9 t (koeficient 1).
- A další.

Detailní popis výstupů a možnosti nastavení byly provedeny v projektu WtECC, aktivitě DC04, DV026 a DV028. Ukázky výpočtů a použití TE modelu svozu je prezentován v kapitole 6 – případové studie 1 – 3.

5.3 Silniční doprava – Překládací stanice

Překládací stanice je místo, kde dochází k poměrně rychlému přeložení netříděného komunálního odpadu, resp. zbytkového komunálního odpadu ze svozových automobilů (KUKA vozů) do velkoobjemových kontejnerů. Odpad je nasypán do násypky stacionárního lisu, kde za pomoci beranu je odpad lisován do kontejnerů (obvykle 30 m³) nebo je pouze přeložen (volně ložený) do návěsových kontejnerů – příkladem může být návěs typu Walking Floor který disponuje objemem až 110 m³. Tento odpad může být částečně zhutněn např. Rollpackrem, aby došlo k efektivnější přepravě odpadu na větší vzdálenosti.

Překládací stanice lze považovat za efektivní prvek v komplexním dopravním řetězci, který je ekonomicky výhodný především při dopravě na větší vzdálenosti (více jak 30 km). Překládací stanice je využívána nejen při dopravě do koncových zařízení (zařízení EVO, skládka, recyklační centrum), ale i pro zpracovatelská zařízení, kterými může být např. třídící linka, dotřídňovací linka, MBÚ či jiné zařízení.

V rámci předkládané disertační práce byl vytvořen detailní TE model pro překládací stanici s možností celé řady variabilního nastavení. Model pracuje s následujícím typem překládací stanice:

- Překládací stanice pro nelisovaný odpad.
- Překládací stanice se stacionárním lisem.

Model zohledňuje možnost komplexní výstavby překládací stanice, tzv. projekt na zelené louce. Klíčové podoblasti jsou:

- Přípravná činnost (pozemek, inženýrské sítě, zpevnění pozemku).
- Stavební činnost (oplocení, vážicí systémy, základní infrastruktura).
- Stavební činnost – zázemí (budovy, sklady, vodní hospodářství).
- Technologické zázemí (technologické řešení překládací stanice).
- Provozní náklady (komplexní náklady na provoz zařízení).

Vzhledem k tomu, že náklady na vybudování překládací stanice jsou poměrně vysoké (náklady od cca 25 mil. Kč) je nutné zohlednit možnost odpisů jednotlivých kategorií v kontextu plánované životnosti zařízení. Vzhledem ke vstupní investici a životnosti projektu je nutné uvažovat i s meziročním nárůstem cenových hladin, v TE modelu zohledněno ve formě inflace. Jsou zvoleny dvě inflační hodnoty:

- Provozní inflace ve výši 2 %.
- Inflace mzdových nákladů ve výši 3,5 %.

5.3.1 Technologie modelovaná v TE modelu překládací stanice se stacionárním lisem

Lisovací zařízení Husmann MP3000¹⁹

- Zpracovatelská kapacita 38 t/hod, max. lisovací síla 50 t.
- Energetická náročnost elektromotoru 30 kWh.
- Energetická náročnost železničních pojezdů 10 kWh – celkově tři pojezdy.

Spojovací a vynášecí dopravník do lisovacího zařízení

- Zpracovatelská kapacita 25 t/hod.
- Energetická náročnost elektromotoru 11 kWh.
- Regulace rychlosti je za pomoci frekvenčního měniče, možnost nastavení rychlosti dopravníku.
- Délka spojovací dopravníku 12 m, šířka 1,8 m, výška bočnice 1,2 m.
- Násypka na přímé plnění je 2,5 m nad úroveň zpevněné rampy – řešení vybráno z důvodu dispoziční úspory.

Pomaloběžný drtič – Husmann HL 1222²⁰

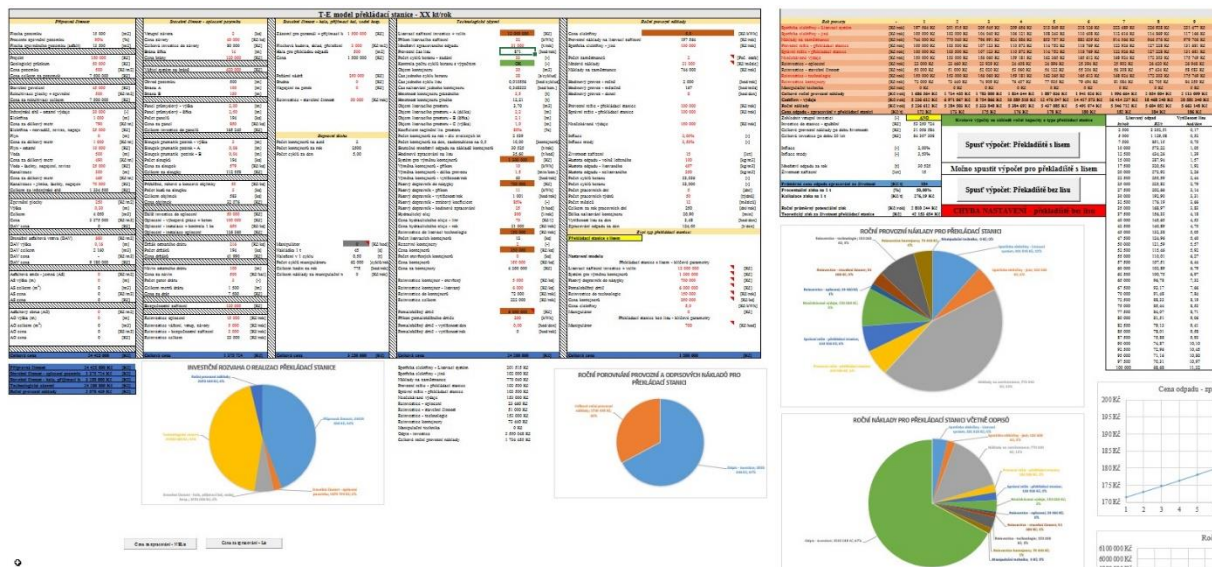
- Hmotnost drtiče 16 t.
- Průměr drtícího hřídele 66 cm, délka 2,2 m.
- Volba otáček v rozsahu 20 – 40 otáček za minutu.
- Energetická náročnost 200 kWh.
- 8 – 16 nástrojů, nástroje 50 – 80 mm.
- Životnost nástrojů – 1 000 – 5 000 motohodin.
- Maximální rozměr na drcení – 2,2 x 1,2.

Mezi další patří především vážní systémy, bezpečnostní systémy pro vstup mezi železniční pojezdy a další.

Ukázka TE modelu překládací stanice je zobrazena na obr. 25.

¹⁹ Detailní informace k lisu, jsou dostupné na <http://husmann.su/gallery/press-dlya-hvostov-mp-3000-ts/>

²⁰ Více informací o pomaloběžném drtiči <https://www.mouder.cz/drtc-zazen-hl-i-1222/>



Obr. 25: Ukázka TE modelu překládací stanice zpracované v MS Excel, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel

TE model je uzpůsoben pro čtyři hlavní přístupy:

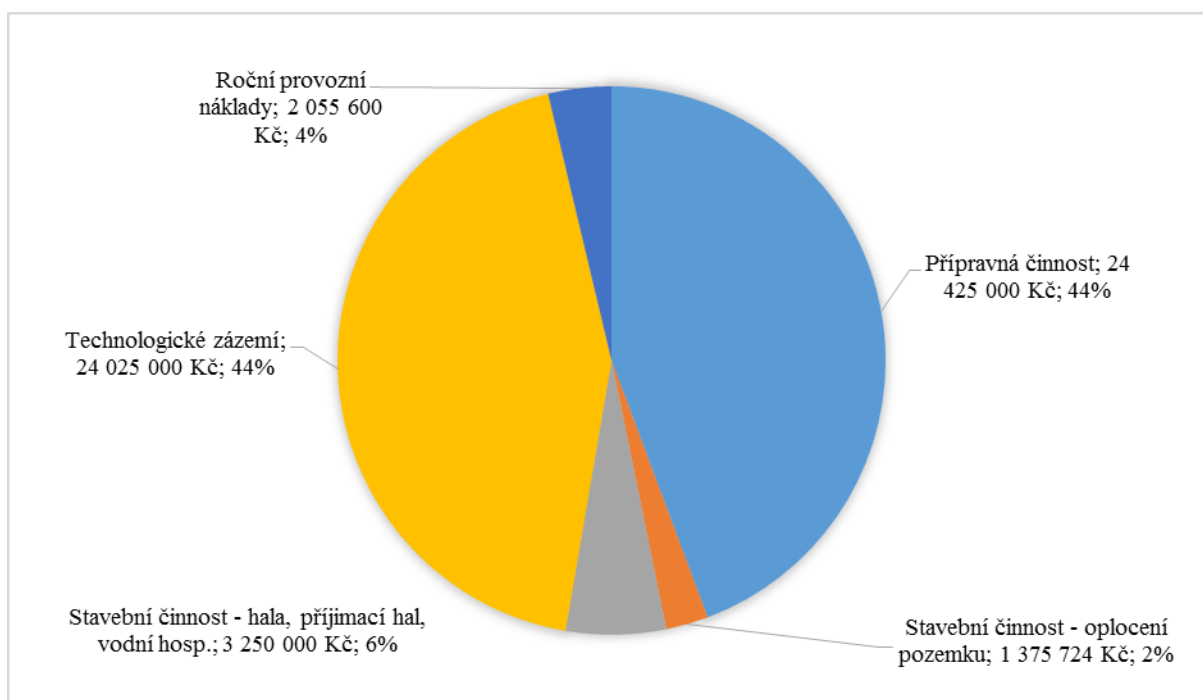
- Vyhodnocení se zohledněním vstupní investice.
- Vyhodnocení se zohlednění pouze provozních nákladů, resp. ročních nákladů.
- Vyhodnocení s lisovacím zařízením nebo bez lisovacího zařízení.
- Krokové generování nákladů.

5.3.2 Případová studie pro demonstraci výsledků z TE modelu překládací stanice

Analýza je provedena pro město s roční produkcí 29 kt odpadu. Překládací stanice je řešen jako projekt na zelené louce, jsou zohledněny veškeré investice (vstupní i provozní), které se promítají do ekonomického zhodnocení.

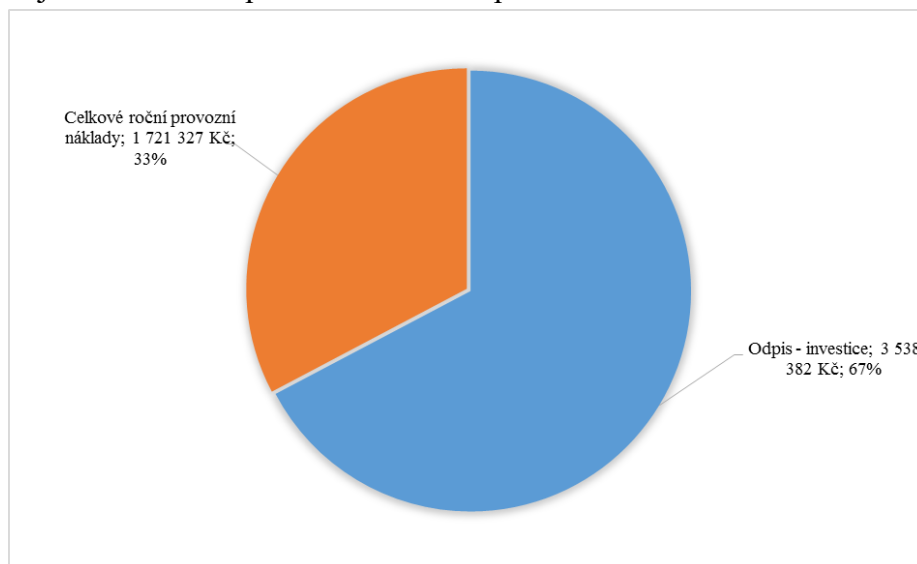
Popelářský automobil přijede do areálu, na vstupu do areálu je zvážen na mostové váze a pokračuje k výsypu. Výsyp je realizován do násypky, z které pokračuje vynášecí dopravník do hlavní násypky lisu. Toto řešení je realizováno na základě dispozičního řešení celkového areálu, kde požadavek byl na maximalizaci skladových prostor a možností využít pomaloběžný drtič pro zpracování velkobjemného odpadu zejm. nábytku z města. Odpad je nalisován do lisovacích kontejnerů o velikosti 30 m³, s uvažovanou sypnou hmotností 407 kg/m³, která byla vyhodnocena jako nejvhodnější z pohledu autora práce. Po naplnění kontejnerů jsou kontejnery uskladněny na volné ploše a odváženy do koncového zařízení - zařízení EVO. Životnost překládací stanice je kalkulována na 15 let, počet zaměstnanců je uvažován na hodnotě – 2.

Prezentované výstupy jsou se zohledněním všech nutných investic. Celková investice na vybudování překládací stanice byla odhadnuta na 53 mil. Kč, při zohlednění plochy pozemku 15 000 m², obdélníkový tvar o rozměru 100 x 150 m. Celková roz-položkovaná investice je zobrazena na obr. 26.



Obr. 26: Investiční rozvaha o realizaci překládací stanice

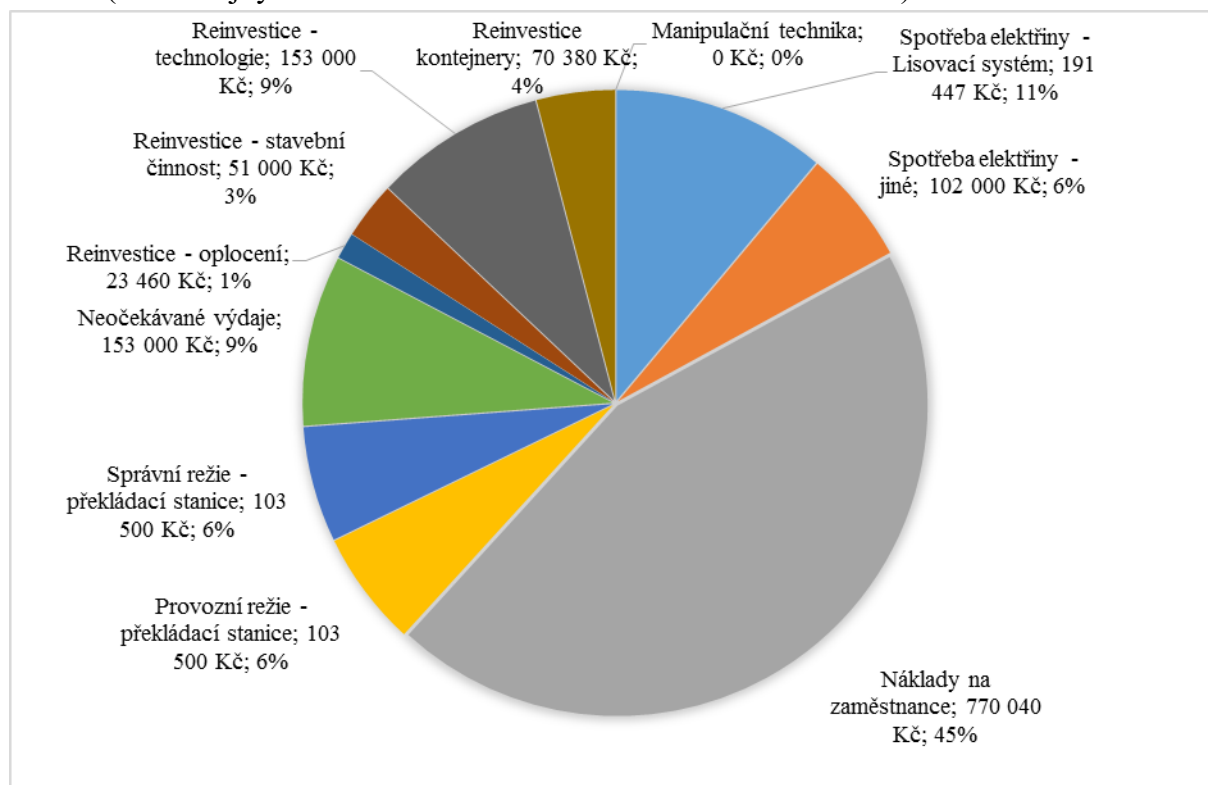
Další velmi důležitou oblastí je porovnání provozních nákladů během prvního roku provozu s ročním odpisovým hlediskem – obr. 27. Z obrázku je patrné, že provozní náklady v prvním roce provozu jsou třetinové z pohledu ročního odpisu celkové investice.



Obr. 27: Porovnání ročních provozních (první rok provozu) a odpisových nákladů pro překládací stanici

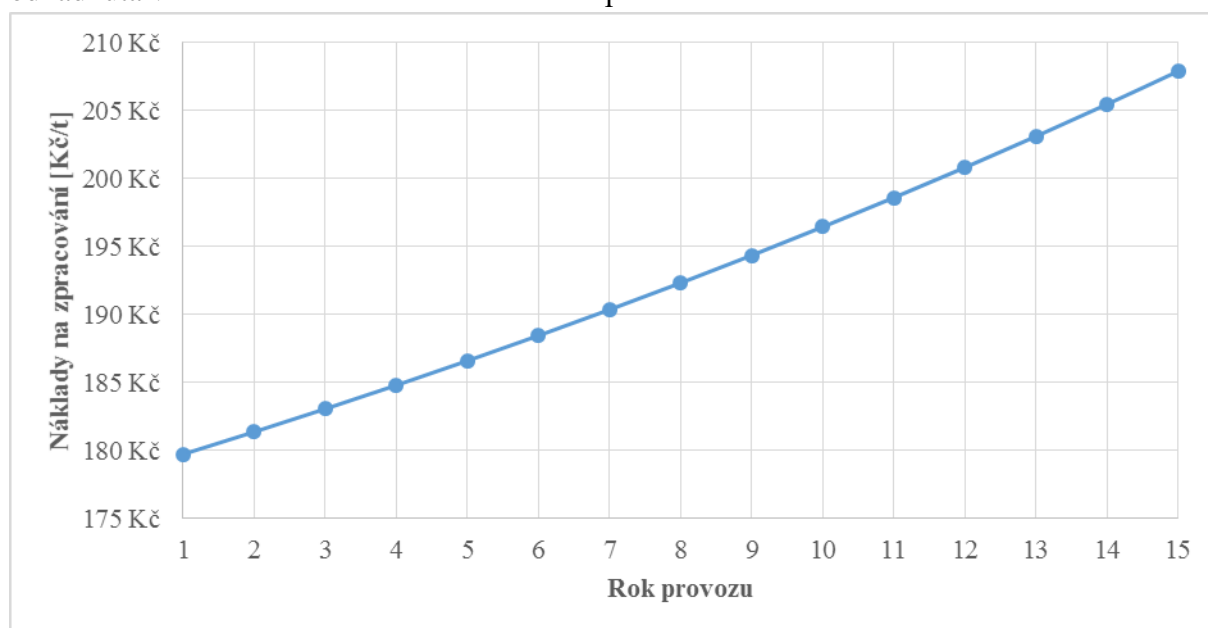
Detailní vyhodnocení ročních provozních nákladů je zobrazeno na obr. 28. Nejnákladnější položkou jsou náklady na zaměstnance (45 %). Na překládací stanici pracují dva zaměstnanci s uvažovanou superhrubou mzdou – měsíčně 32 000 Kč. Superhrubá mzda se uvažuje z důvodu

koncových výdajů pro zaměstnavatele tak, aby korespondovalo s vyhodnocením překládací stanice (úvaha nejvyšší ekonomická náročnost – konzervativní scénář).



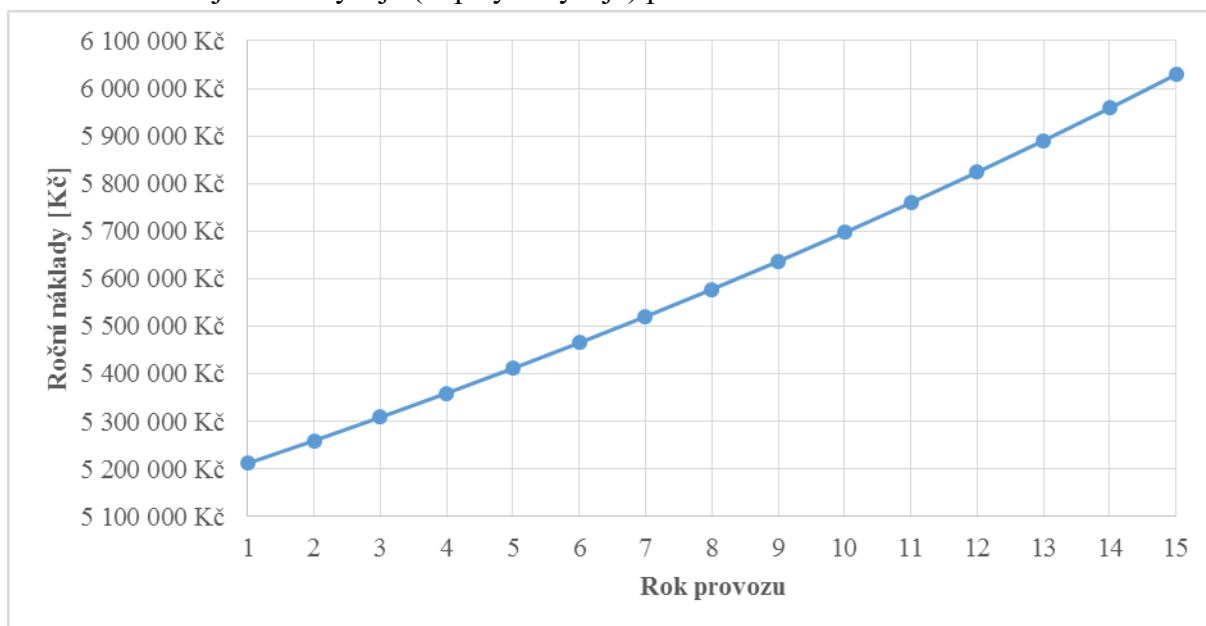
Obr. 28:Roční provozní náklady pro překládací stanici

Náklady na zpracování zbytkového odpadu na překládací stanici je zobrazeno na obr. 29. Průměrná hodnota po dobu životnosti byla odhadnuta na částku 193 Kč/t. Tato cena je odhadnuta v závislosti na celkové investici do překládací stanice.



Obr. 29:Náklady na tunu zpracovaného odpadu na překládací stanici se zohledněním celkové investice

Obr. 30 zobrazuje roční výdaje (odpisy + výdaje) po dobu životnosti.



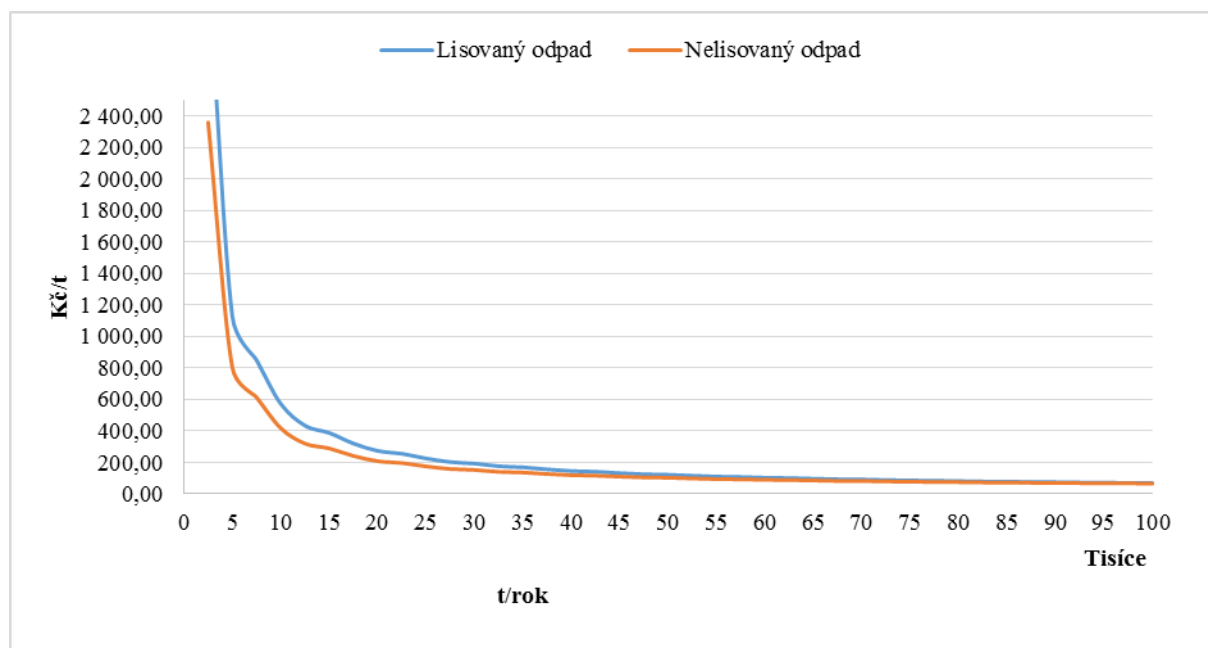
Obr. 30: Roční náklady překládací stanice se zohledněním celkové investice a provozních nákladů

Celková sumarizace prezentovaného scénáře pro překládací stanici je zobrazen v tab. 6. Celková investice po dobu 15 let je odhadnuta na 83,9 mil. Kč. V případě 50% marže na zpracování je potenciál zisku kalkulován na 42 mil. Kč. Aby se systém dostal soběstačně do zelených čísel, v prezentovaném scénáři, je nutné uvažovat se 100 % marží.

Tab. 6: Sumarizace klíčových nákladů pro vybraný scénář

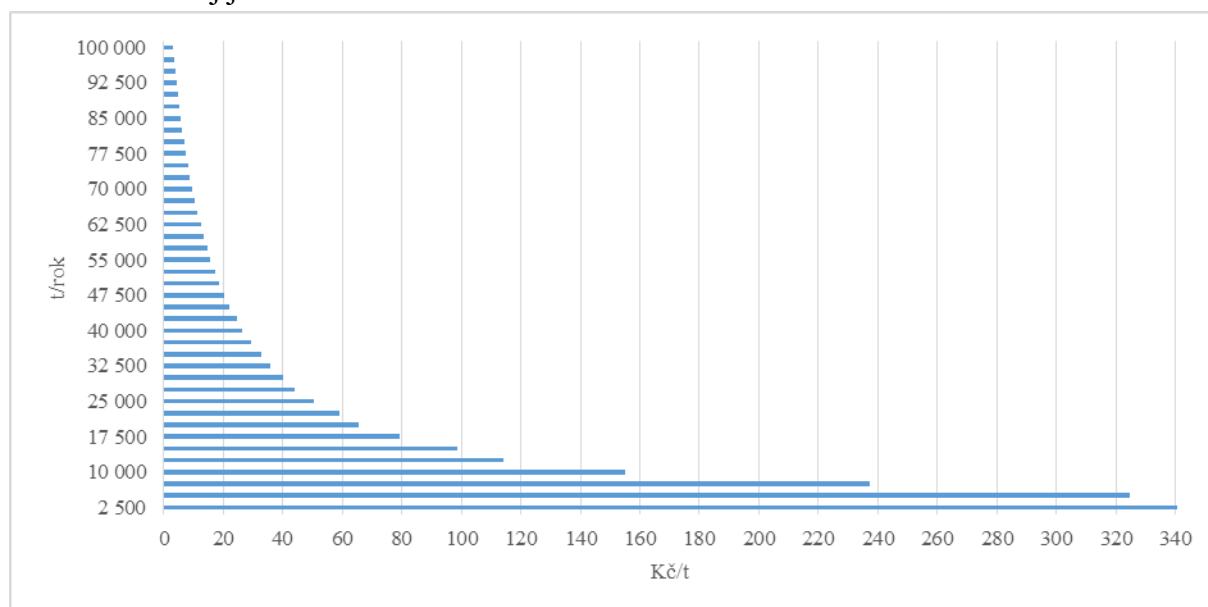
Investice do překládací stanice – spuštění	[Kč]	53 075 724
Celkové provozní náklady po dobu životnosti	[Kč]	30 834 006
Celková investice po dobu životnosti	[Kč]	83 909 730
Inflace	[-]	2,00%
Inflace mzdy	[-]	3,50%
Množství odpadu za rok	[t]	28 999
Životnost zařízení	[let]	15
Průměrná cena odpadu zpracování za životnost	[Kč/t]	193
Procentuální zisku na 1 t	[%]	50,00%
Kalkulace se zohledněním zisku – 1 t	[Kč/t]	289 Kč
Roční průměrný potenciální zisk	[Kč/rok]	2 796 991 Kč
Teoretický zisk za životnost překládací stanice	[Kč]	41 954 865 Kč

Kromě hodnocení specifických scénářů lze krokově generovat kapacitu překládací stanice a sledovat náklady. Pro vhodnou ukázkou je zobrazen obr. 31, který srovnává překládací stanici s lisovacím systémem a překládací stanici bez lisovacího systému. U Překládací stanice bez lisovacího systému se používá manipulační technika – přední nakladač, který nakládá pomocí velkoobjemové lžice odpad do návěsů (např. Walking Floor systém).



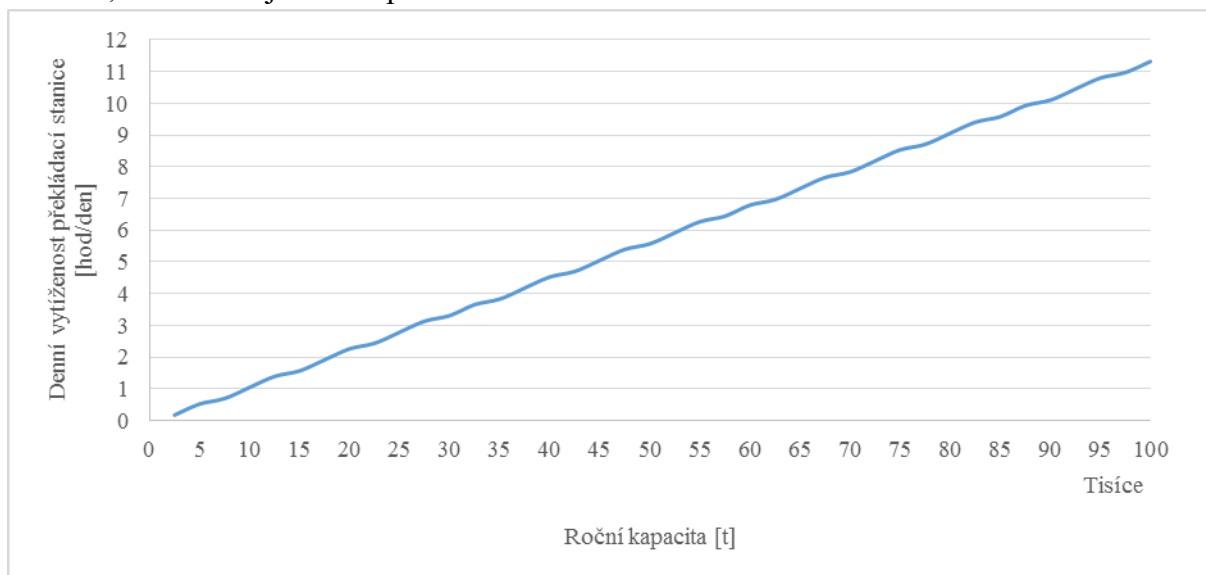
Obr. 31: Porovnání nákladů na zpracování (lisovaný a nelisovaný odpad)

Rozdílnost nákladů se zohledněním zpracování odpadu na jednu tunu mezi překládací stanicí s lisem a bez něj je zobrazena na obr. 32.



Obr. 32: Rozdíl v nákladech překládací stanice s lisem a bez lisu

TE model dokáže vyhodnocovat časovou náročnost zpracování množství odpadu na překládací stanici. Tento výpočet pracuje s volně loženým odpadem o sypné hmotnosti 100 kg/m^3 a bilancuje minimální množství cyklů beranu na základě požadavku nalisování (např. 407 kg/m^3). Požadavek lisování a velikost beranu či násypky je uživatelsky volitelná. Časová náročnost je zobrazena na obr. 33. Lze konstatovat, že výsledky z modelu korespondují s výrobcí lisovacích zařízení, kteří uvádějí denní zpracovatelnost 200 t.



Obr. 33: Časová náročnost zpracování množství odpadu v překládací stanici

Aktuálně je připravován článek na mezinárodní konferenci PRES 2019 na téma překládací stanice.

5.4 Silniční doprava – Odvozové systémy a emisní model

TE model odvozu je postaven na vyčíslení nákladů na základě přepravovaného množství a vzdálenosti. Výchozí TE model pracuje s třemi typy automobilů:

- Tahač.
- Nákladní automobil.
- Hákový nakladač.

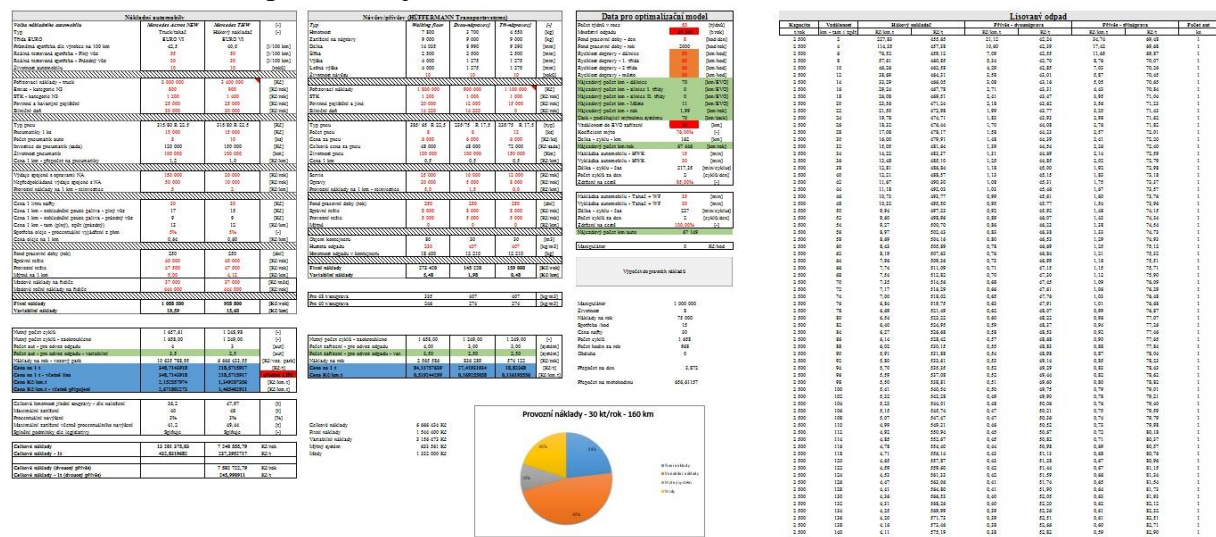
Současně lze dle technické způsobilosti k vybranému automobilu připojit návěs (možnost připojení k tahači) nebo libovolný přívěs (možnost připojení k nákladnímu automobilu a hákovému nakladači). Výchozí model pracuje s třemi základními typy:

- Návěsu typu Walking Floor.
- Dvounápravový přívěs.
- Třínápravový přívěs.

Principu výpočtu spočívá ve stanovení **fixních** a **variabilních cen**, které vstupují do optimalizačního výpočtu. Na základě vstupních parametrů, mezi které patří denní pracovní doba, fond pracovní doby, zdržení na trase, identifikace dopravní cesty dle vybraných parametrů např. typ komunikace, mýtný systém, rychlostí průměry, je stanoven potřebný počet cyklů a dimenzování vozového parku. Cílem je minimalizovat vozový park.

Současně jsou stanoveny náklady na provoz jednotlivých vozidel, vozový park, náklady na km, náklady na km/t, stanovení počtu najetých kilometrů na jeden vůz, resp. na celý vozový park, vytiženost a další.

Ukázka TE modelu pro odvoz je zobrazena na obr. 34.



Obr. 34: Ukázka TE modelu pro odvoz, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel

Model dokáže provádět libovolné citlivostní analýzy – viz příloha č. 1. Kompletní představení TE modelu pro odvoz bylo provedeno v projektu WtECC aktivitě DC04 (DC04.1 – DC04.5) a DV026. Současně proběhla implementace do výsledného nástroje V007 (klíčový výstup projektu WtECC).

Další součástí TE modelu odvozu je emisní model. Tento model byl inspirován konferencí Recy & DepoTech 2016 v Leobenu, kde proběhla velmi zajímavá přednáška s příspěvkem [38].

Hlavní motivací pro vytvoření emisního modelu bylo schopnost popsat dopad dopravy na vybraném území z pohledu emisních polutantů. Z pohledu celkového vyhodnocení bylo pracováno s následujícími polutanty:

- Oxid uhličitý – CO₂.
- Oxid uhelnatý – CO.
- Oxidy dusíku – NO_x.
- HC + NO_x.
- Pevné částice – PČ.

Z pohledu dopadu na životní prostředí, patří mezi největší hrozby především CO, CO₂ a NO_x. Detailní vyhodnocení rizikovosti jednotlivých polutantů lze nalézt např. v závěrečné práci [58] v přednášce polutanty²¹.

Základem emisního modelu je detailní popis dopravní cesty, který na základě profilu dopravní cesty vyčísluje spotřebu paliva. Spotřeba je vyčíslena na základě hran (dopravní cesta je složena z několika desítek až stovek hran o různé délce např. se může jednat o vzdálenosti křižovatka-křižovatka) konkrétní dopravní cesty, jedná se o komplexní spotřební model pro vybranou cestu. Na základě vybrané dopravní cesty, která může být libovolně uživatelem zvolena nebo se jedná o relevantní výstup z nástroje *NERUDA*, resp. *NERUDA Street*, dochází ke zpracování v nástroji ArcGIS PRO a dopravní cesta je rozdělena na několik menších úseků. Čím menší úsek dopravní cesty je vytvořen, tím lze detailněji popsat celkový průběh profilu dopravní cesty s dopadem na aktuální spotřebu a produkci emisních polutantů. Možné přístupy řešení a analyzování nadmořských výšek je popsána v článku [40].

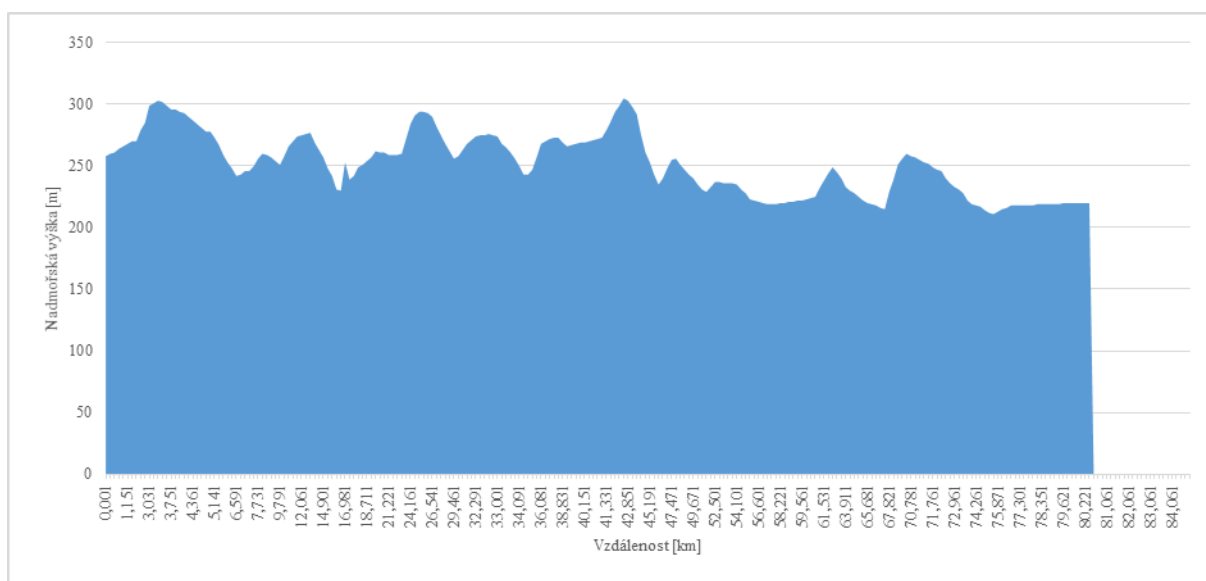
Základní vstupní hodnoty do emisního modelu jsou následující:

- Nadmořská výška.
- Délka úseku.

Další zájmovým parametrem je čas potřebný pro průjezd vybraného úseku pro vyhodnocení průměrné rychlosti na celkové dopravní cestě. Z výše uvedených parametrů (nadmořská výška a délka úseku) je následně dopočítáván sklon všech úseků v procentech. Princip je takový, že vždy dvě sousední nadmořské výšky, jsou dopočítávány pomocí goniometrických funkcí na úhel sklonu. Tento postup je vytvořen vždy pro polovinu dopravní cesty (předpoklad – nákladní automobil nebo jízdní souprava odváží odpad z transportního místa na místo konečné a vrací se zpět). Druhá polovina cesty je analogická, pouze s opačným převýšením tzv. návratem zpět. Celkové řešení se odvíjí od množství vstupních hodnot a úrovně požadovaného detailu, dle provedených analýz jsou velmi dobré zkušenosti s krokem cca po 200 m na úrovni České republiky. Pro prezentaci výstupů, byla vybrána dopravní cesta z překládací stanice v Olomouci do brněnského zařízení EVO – SAKO Brno, a.s. Profil dopravní cesty (sklon jednotlivých úseků) je počítána z goniometrických rovnic, při známé nadmořské výšce a délky úseku (přepony).

Po dalších nezbytných úpravách je zjištěn úhel sklonu dvou sousedních bodů na základě vygenerované nadmořské výšky z ArcGIS PRO. Profil dopravní cesty je zobrazena na obr. 35, jedná se o poloviční cyklus na trase Olomouc – Brno – Olomouc.

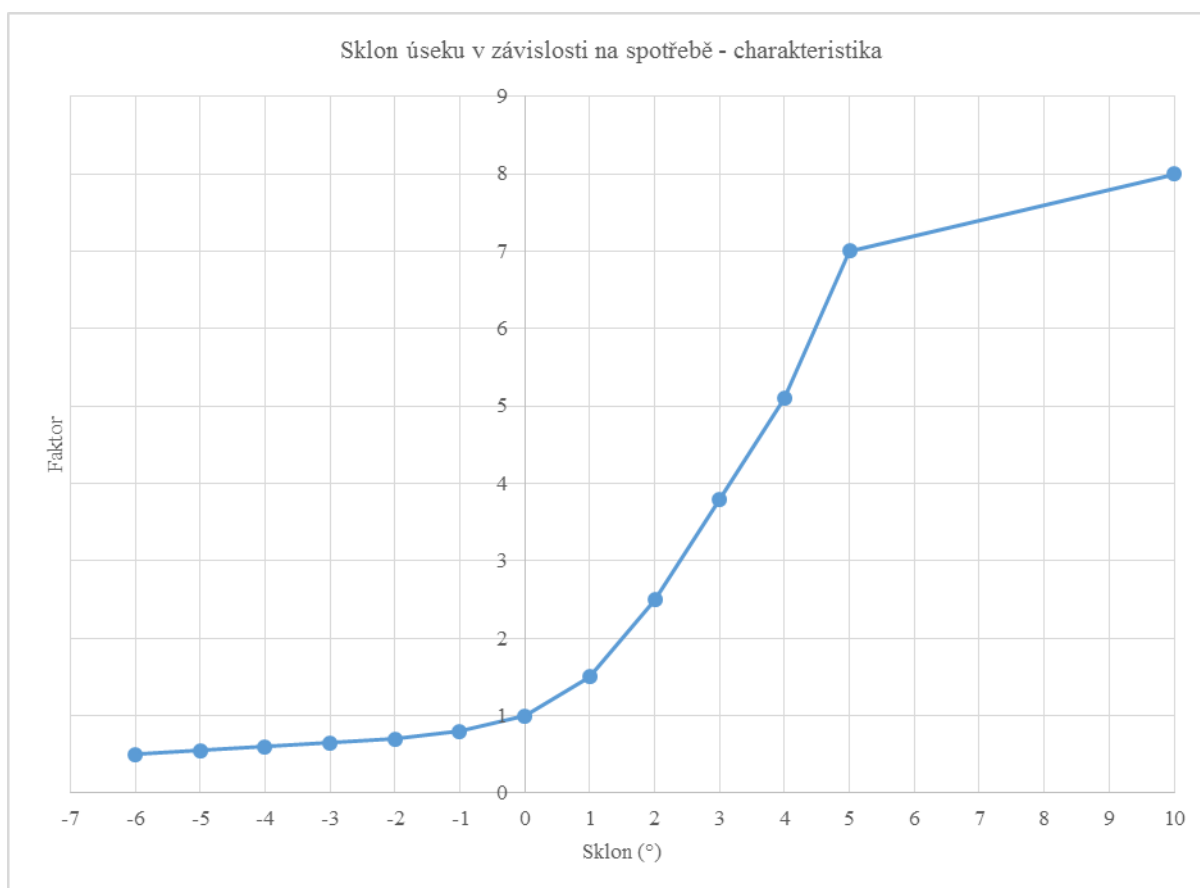
²¹ https://is.muni.cz/el/1441/podzim2015/SZ7BK_BiEV/POLUTANTY.pdf



Obr. 35: Ukázka profilu dopravní cesty na trase Olomouc – Brno (Česká republika)

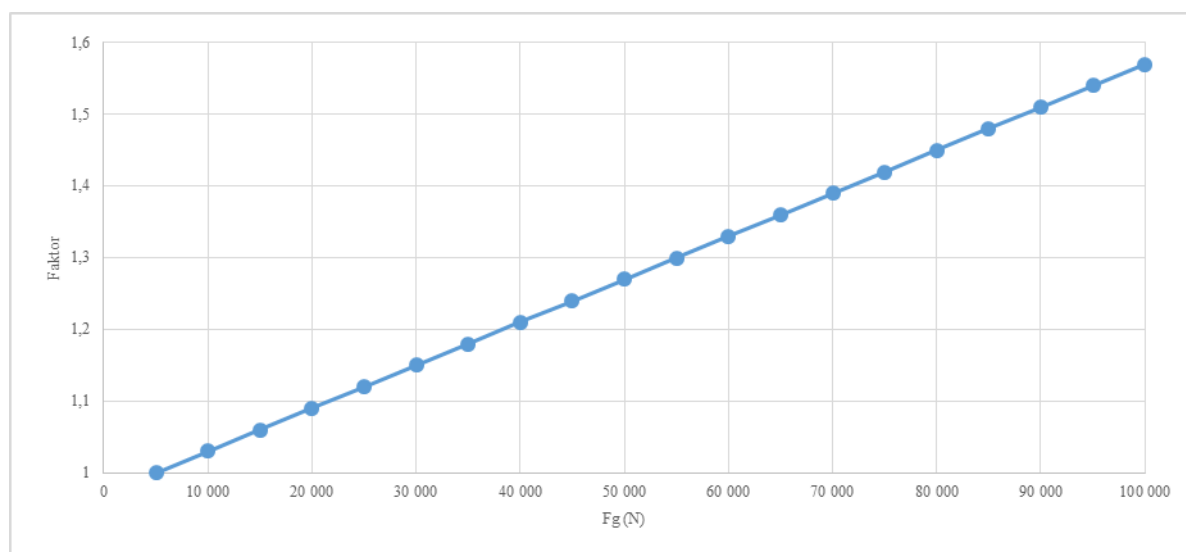
Z výsledných analýz profilu dopravní cesty je patrné, že na vybrané dopravní trase nedochází k rapidnímu převýšení, především z důvodu minimální nadmořské výšky (cca 220 m n. m.) a maximální (cca 300 m n. m.) na celkové dopravní trase – maximální výškové převýšení, které je na vybrané trase, je cca 80 m.

Za předpokladu požadavku na stanovení profilu dopravní cesty je nutné zohlednit i specifické koeficienty, které na základě spotřeby PHM degradují nebo zvýhodňují aktuální spotřebu na daném úseku. Na základě teoretických úvah a analýze provozů byla stanovena koeficientní křivka na základě úhlu sklonu vůči analyzovanému úseku. Každý automobil má deklarovanou spotřebu PHM, která při posouzení v reálných podmínkách je ve většině případů vyšší (dopad na schvalovací proces a splnění emisních tříd pro uvedení na trh). Z tohoto důvodu jsou stanoveny koeficienty (faktory) na základě sklonu, které degradují teoretickou spotřebu PHM. Pro příklad lze uvést např. sklon úseku 5° je faktor na hodnotě 7, tj. teoretická spotřeba je 7x vyšší na posuzovaném úseku. Je nutné uvést, že čím menší krok úseku bude, tím lépe a reálněji model dokáže popsat celkový dopad na spotřebu PHM a tím vyhodnotit produkci polutantů.



Obr. 36: Koeficientní křivka pro sklonový poměr

Kromě výše uvedené koeficientní křivky je nutné připravit scénář v případě zatížení vozidla. Vozidla bývají velmi často přetěžovaná, především vozidla svozová (KUKA vozy), která ve většině případů mají udělenou výjimku. Obecně v České republice, lze předpokládat s dopravu cca 25 t odpadu v případě jízdních souprav (max. pro jízdní soupravy je 48 t), v případě popelářských vozů se jedná o maximální hodnotu cca 10 t (standardně třinápravový automobil s nástavbou o max. celkové hmotnosti 26 t) dle dodržení platné legislativy. Křivka zatížení (obr. 37), byla stanovena jako lineární funkce, prioritně pro popelářské vozy s možností reagovat na přikládání v průběhu celé obslužné trasy.



Obr. 37: Koeficientní křivka pro zatížení vozidla

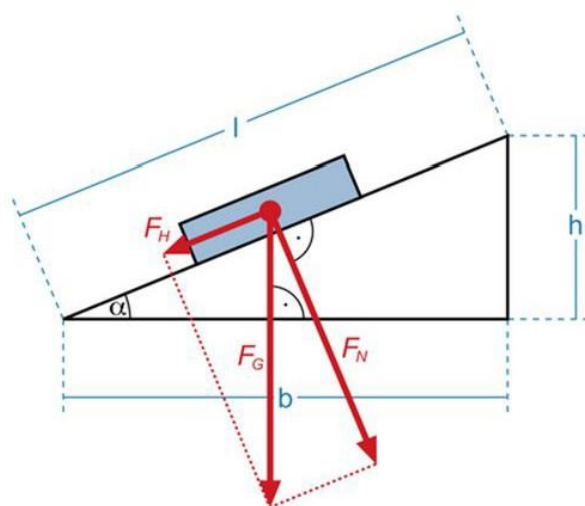
Křivka na obr. 37 byla stanovena na základě teoretického experimentu a diskuzi s odborníky z technických služeb. Z výsledné linearity, lze vidět, že v případě plného zatížení, je maximální koeficient stanoven na hodnotu 1,6, tj. v případě plného zatížení bude mít automobil o 60 % vyšší spotřebu, jak v případě jeho výchozí hodnoty v TE emisním modelu.

V modelu tedy vystupují dva základní koeficienty:

- Koeficient vlivu sklonu (obr. 36).
- Koeficient zatížení (průběžné nebo konstantní zatížení, obr. 37).

V kontextu koeficientu zatížení je nutné řešit zatížení průběžné a konstantní, je to z důvodu možnosti simulací pro svozové prvky – popelářské vozy, které sbírají odpad postupně a pro odvozové prvky – jízdní souprava, které je naložena na maximální kapacitu na překládací stanici a následně odjíždí do zařízení EVO.

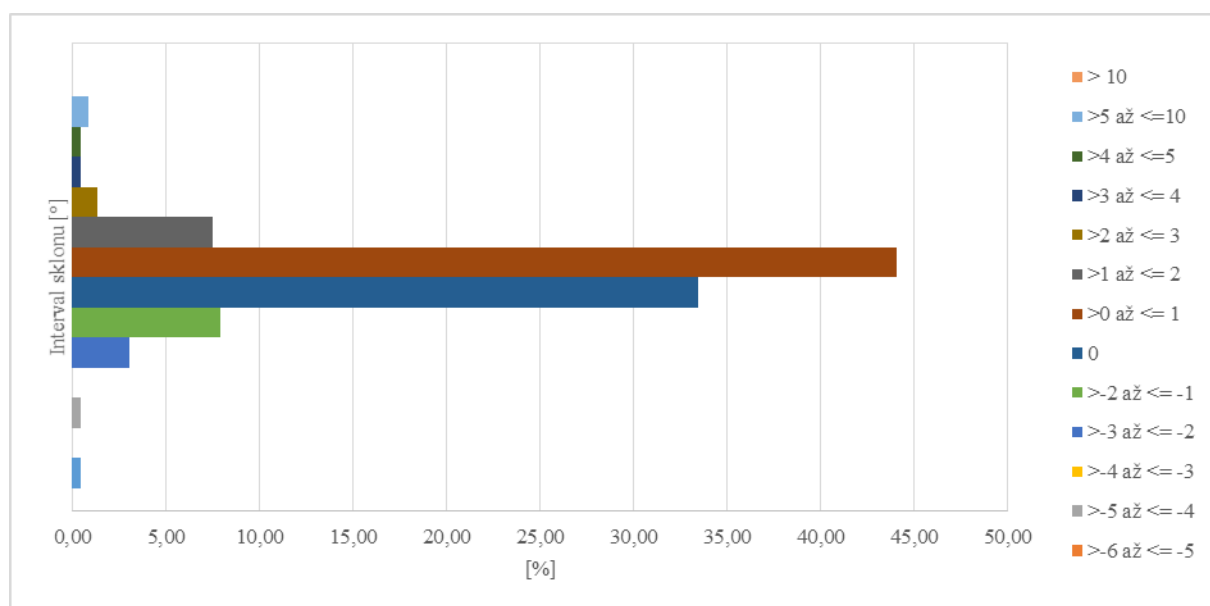
Koeficient zatížení je vypočítáván z goniometrických funkcí a z nakloněné roviny na základě tíhové síly viz ilustrace obr. 38.



Obr. 38: Výpočet tíhové síly pro stanovení koeficientu zatížení

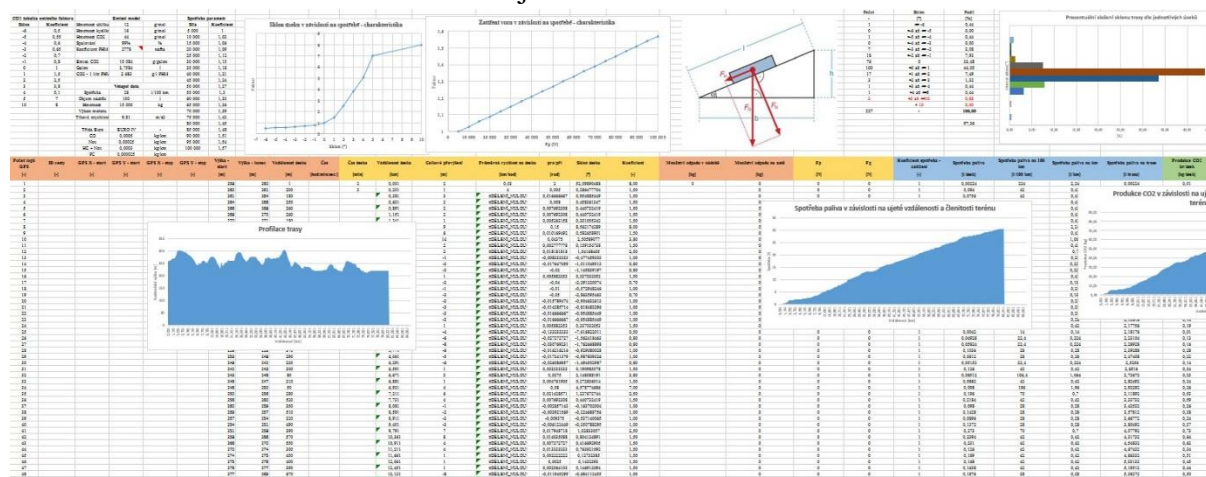
Přístup analyzování spotřeby PHM, jak již bylo uvedeno výše, tak teoretická spotřeba dle technických listů konkrétního automobilu ve většině případů neodpovídá realitě (standardnímu provozu). Je to z důvodu značně specifických podmínek, při kterých jsou automobily testovány. Jedná se např. o testování na speciálních okruzích, které jsou téměř rovné s velmi kvalitním asfaltem, používají se pneumatiky s velmi nízkým valivým odporem, přehuštěné pneumatiky a mnoho dalších faktorů, které příznivě ovlivňují konečnou spotřebu PHM nejen u nákladních automobilů.

Model dokáže popsat procentuální množství zastoupení úseků z pohledu sklonu, opět výsledky budou prezentovány na dopravní trase Olomouc – Brno – obr. 39. Z analýzy je patrné, že na vybrané dopravní trase 97 % sklonů je v rozmezí od -3° do 3° .



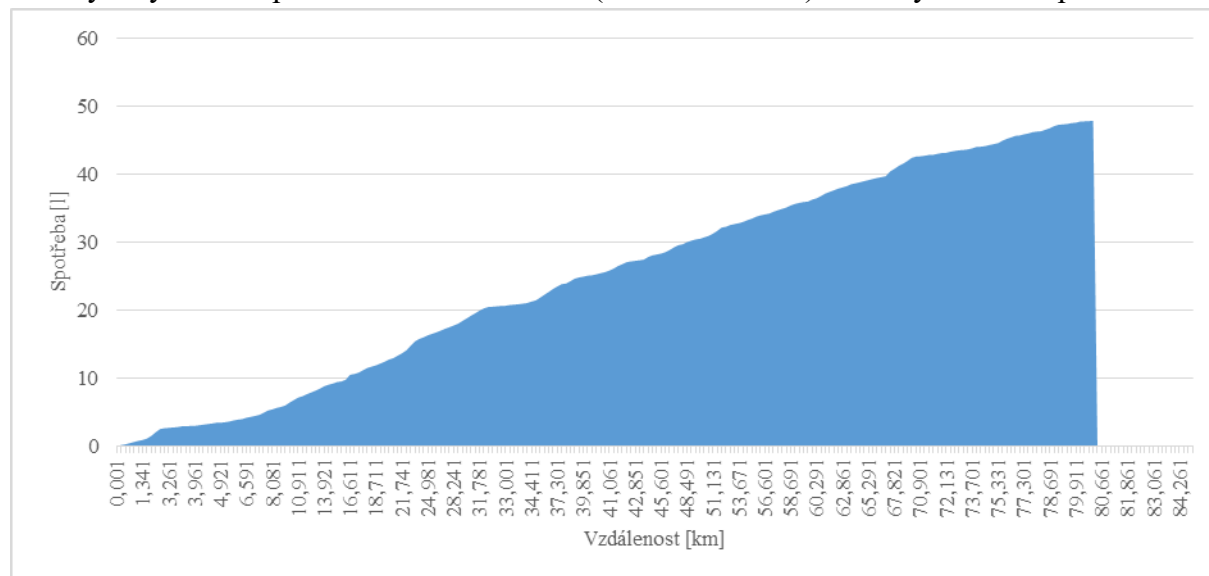
Obr. 39: Procentuální složení sklonu na trase, četnost sklonu úseků

Ukázka hlavního těla emisního modelu je zobrazena na obr. 40



Obr. 40: Ukázka emisního modelu, výřez z uživatelského rozhraní zpracovaného v MS Excel

Na obr. 41 je zobrazena spotřeba PHM na analyzované dopravní cestě v závislosti zohlednění koeficientů zatížení a koeficientů sklonů. V prezentovaném výstupu, bylo uvažováno konstantní zatížení v podobě 24 t odpadu na jízdní soupravě při teoretické spotřebě 28 l na 100 km. Byla vyčíslena spotřeba PHM na cca 48 l (cca 58 l/100 km) na analyzované dopravní cestě.



Obr. 41: Vyhodnocení spotřeby PHM v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty

V případě, že budeme uvažovat cyklus zpět, byla zjištěna spotřeba cca 30 l (cca 35 l/100 km) na dané trase bez zatížení a v plynulém provozu.

Lze stanovit průměrnou hodnotu spotřeby PHM na 39 l nafty na trase. Reálná spotřeba je ovlivněna typem automobilu a stářím, proto ukázku lze uvést v intervalu průměrných spotřeb, tj. 40 l – 52 l na 100 km. Byl vybrán automobil splňující třídu EURO V, který dosahuje průměrnou spotřebu dle palubního počítače 48,7 l na 100 km. V případě, že tento automobil

porovnáme s námi vytvořeným teoretickým modelem, dostáváme se na teoretickou hodnotu 46,5 l na 100 km. Rozdíl je přibližně 5%, který může nastávat v případě, zvýšeného provozu na trase, dopravní špičky, protivětru, tlaku v pneumatikách nebo chybovost palubního počítače. Dále se může jednat o využití klimatizace (rozdílnost léto/zima), resp. technický stav pneumatik na základě dezénu pneumatik (starší vs. nové pneumatiky).

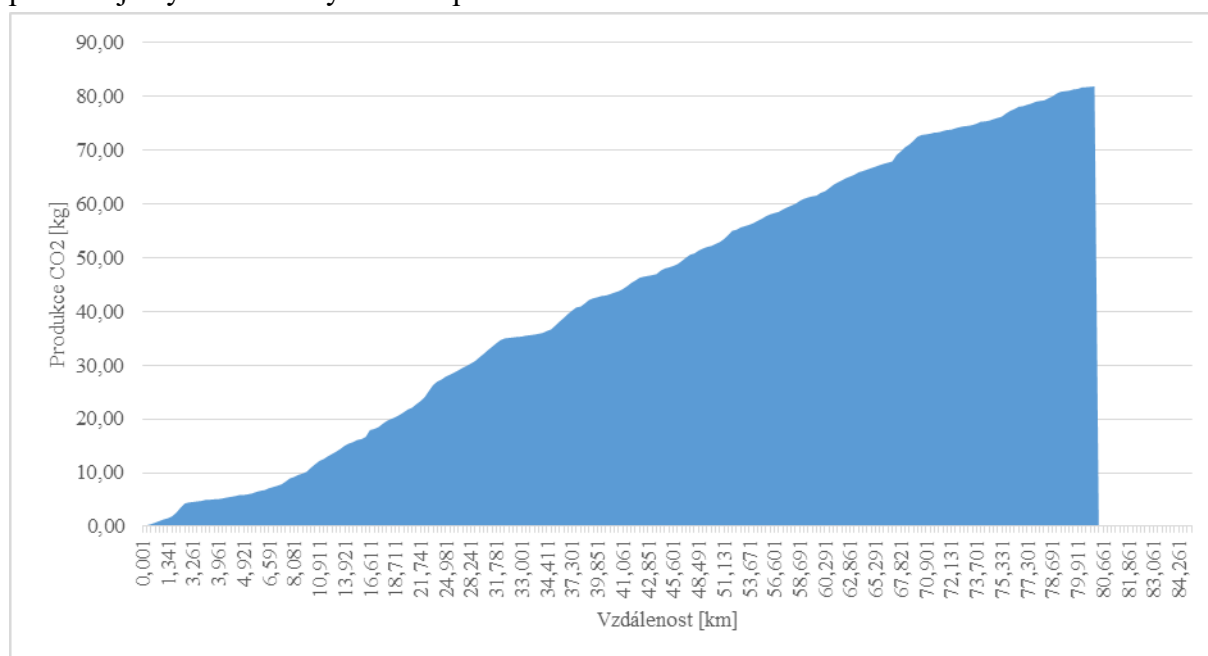
Následovalo vyčíslení jednotlivých emisních polutantů výpočet CO₂ byl stanoven na základě spotřeby PHM. Základní výpočetní vzorec byl stanoven dle EPA²². Výpočet je založen na emisních parametrech vycházející ze spalovací rovnice nafty či benzínu (model dokáže pracovat s oběma palivy), která vyjadřuje obsah uhlíku v palivu.

- Nafta – 2 778 g uhlíku na galon
- Benzín – 2 421 g uhlíku na galon

Dále je uvažováno nedokonalé spalování, tj. dokonale je spáleno 99 % paliva. Získané hmotnosti se následně přepočtou na hmotnost emisí CO₂. Poměr atomové hmotnosti uhlíku (C = 12 g/mol) a molekulová hmotnost oxidu uhličitého (CO₂ = 44 g/mol). Pro námi uvažované palivo (nafta) je tedy kalkulační vzorec následující:

$$\text{Emise CO}_2 = C_{\text{spal}} \cdot \alpha \text{ (Mm/m}_C\text{)} \text{ [gramů / galon]}$$

Vzhledem ke korespondenci hodnoty je nutné výsledek převést z galonů na litry, tj. jeden americký galon má 3,7584 l. Výsledek bude prezentován v jednotce [g CO₂ / 100 km]. Obr. 42 prezentuje výsledek na vybrané dopravní trase se zohledněním koeficientu sklonu a zatížení.



Obr. 42: Vyhodnocení produkce CO₂ v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty

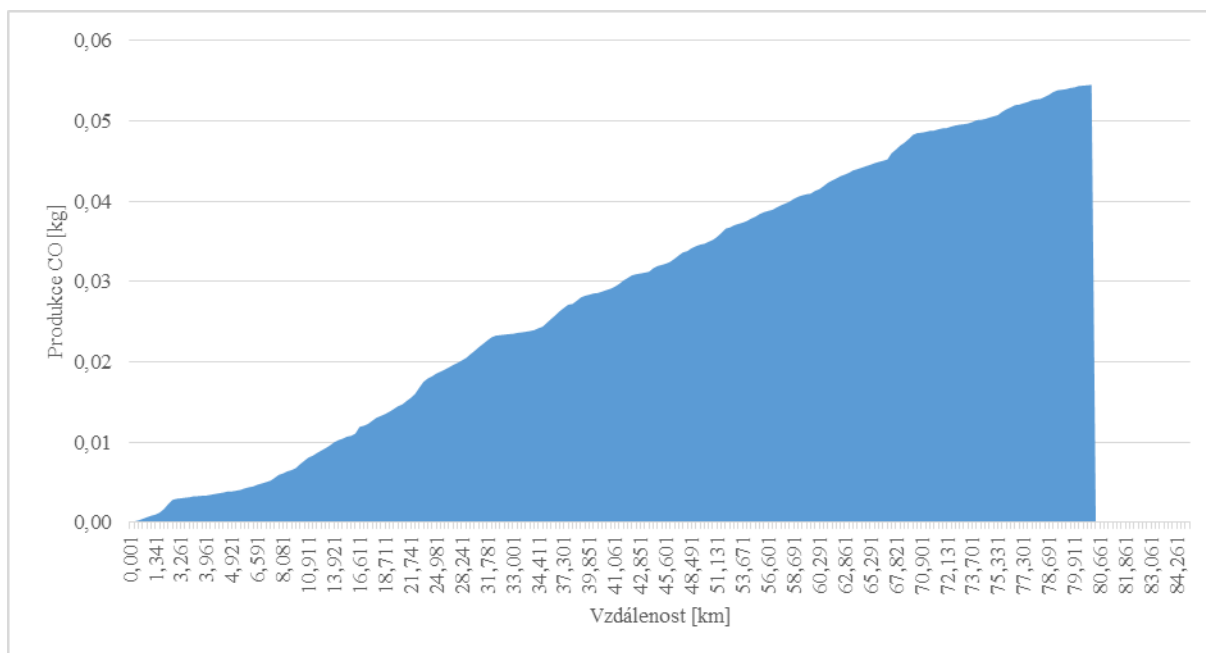
²² <https://www.epa.gov/>

Zbylé emisní polutanty, tj. CO , NO_x , $HC + NO_x$ a PC , jsou prioritně dopočítávány z tabelovaných hodnot jednotlivých emisních tříd. Ve výpočtu jsou zohledněny všechny aktuálně platné emisní třídy pro nákladní automobily, tj. EURO I – EURO VI – tab. 7.

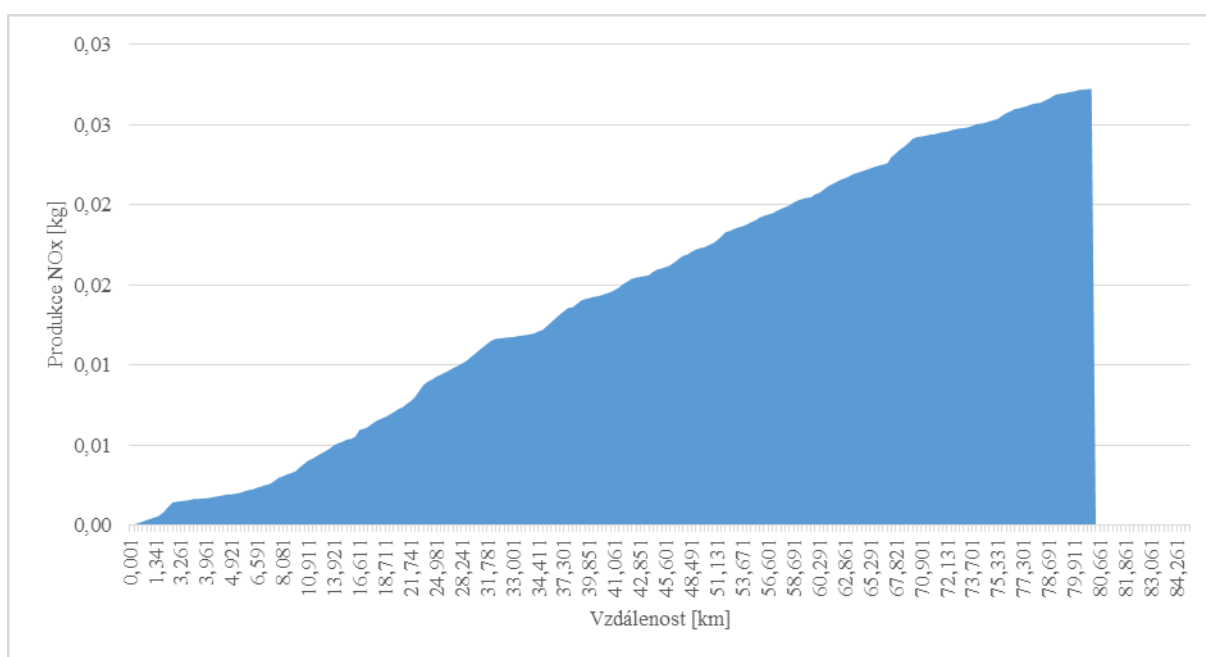
Tab. 7: Produkce emisních polutantů pro naftové motory [45]

Norma	CO [g/km]	NO _x [g/km]	HC + NO _x [g/km]	PC [g/km]
EURO I	3,16	–	1,13	0,18
EURO II	1	–	0,7	0,08
EURO III	0,64	0,5	0,56	0,05
EURO IV	0,5	0,25	0,3	0,025
EURO V	0,5	0,18	0,23	0,005
EURO VI	0,5	0,08	0,17	0,005

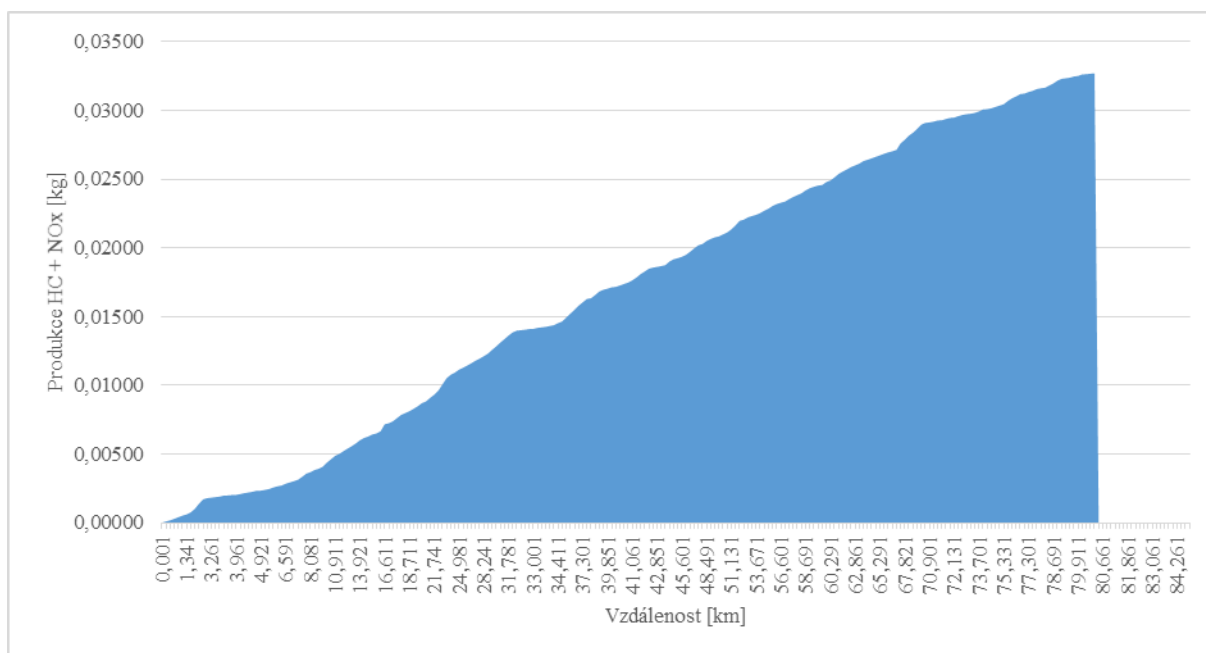
Na základě tabelovaných hodnot dle tab. 7 je odhadnuta produkce emisních polutantů. Zohledněny jsou koeficienty zatížení a koeficienty sklonu, které degradují tabelované hodnoty na vytipované dopravní trase. Teoretické výstupy z modelu jsou zobrazeny na obr. 43 – obr. 46.



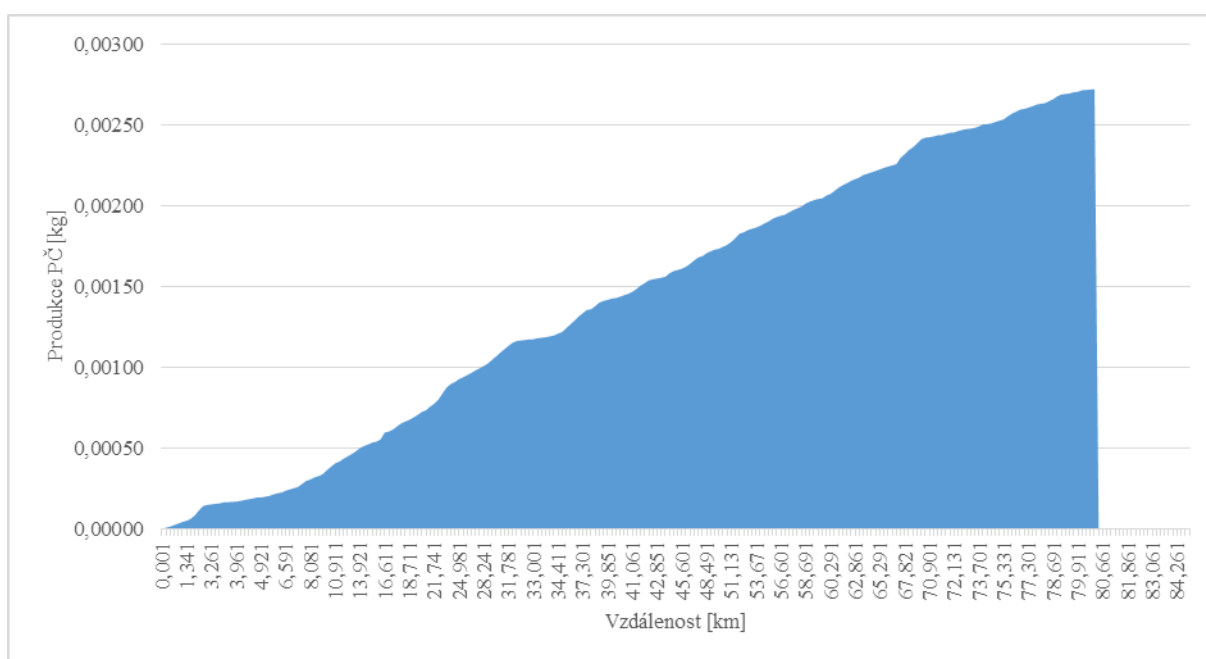
Obr. 43: Vyhodnocení produkce CO v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty



Obr. 44: Vyhodnocení produkce NO_x v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty



Obr. 45: Vyhodnocení produkce HC + NO_x v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty



Obr. 46: Vyhodnocení produkce PČ v závislosti na ujeté vzdálenosti a profilu dopravní cesty

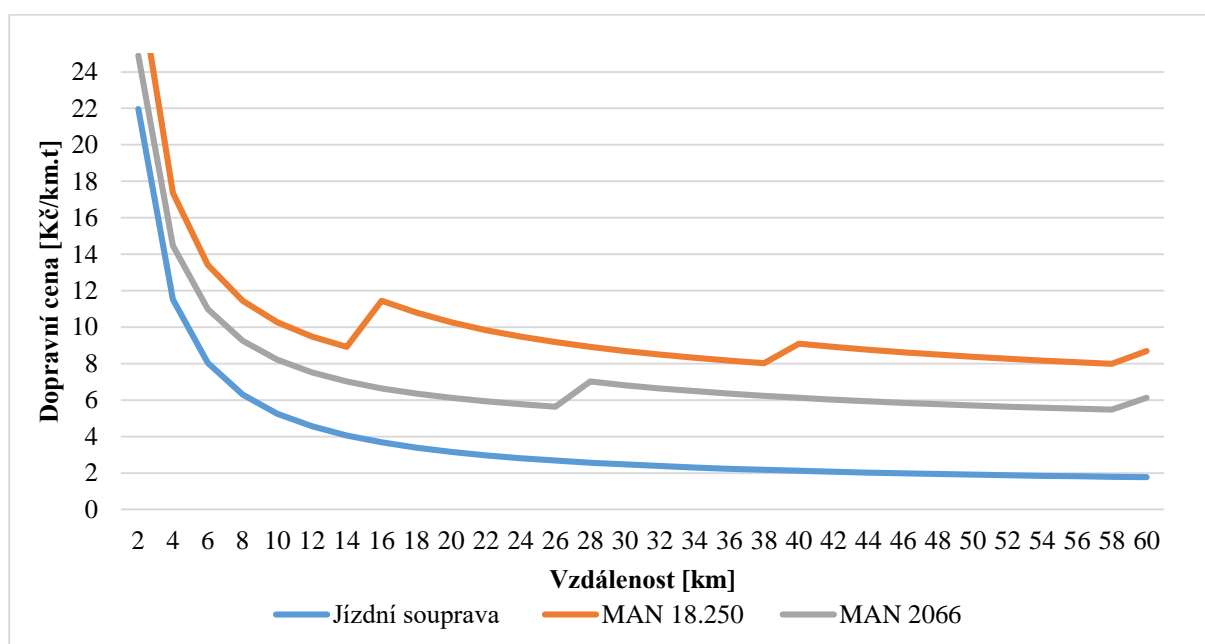
Z výše prezentovaných výstupů lze vyvozovat základní teoretické závěry z pohledu produkce emisních polutantů. V případě, že by bylo nutné řešit problematiku polutantů do větší a přesnější míry, je nutné instalovat snímače na vybrané dopravní automobily, které budou měřit aktuální spotřebu a celkové složení výfukových plynů. Emisní polutanty, tak i spotřeba PHM je závislá na několika základních faktorech, které jsou velmi obtížně predikovatelné a na každé dopravní cestě jsou zcela individuální, jedná se o následující:

- Průměrná rychlost na dopravní trase.
- Výše otáček a správnost řazení.
- Zahřátý či studený motor.
- Plynulost jízdy na dopravní trase.

Celkové hodnocení emisních polutantů v kontextu komplexního řetězce nakládání s odpady bylo provedeno v disertační práci [46]. Bylo zjištěno, že emisní zátěž z dopravy odpadů je marginální v porovnání např. se zpracováním odpadu v zařízení EVO.

5.5 Porovnání a ekonomická výhodnost systémů silniční dopravy

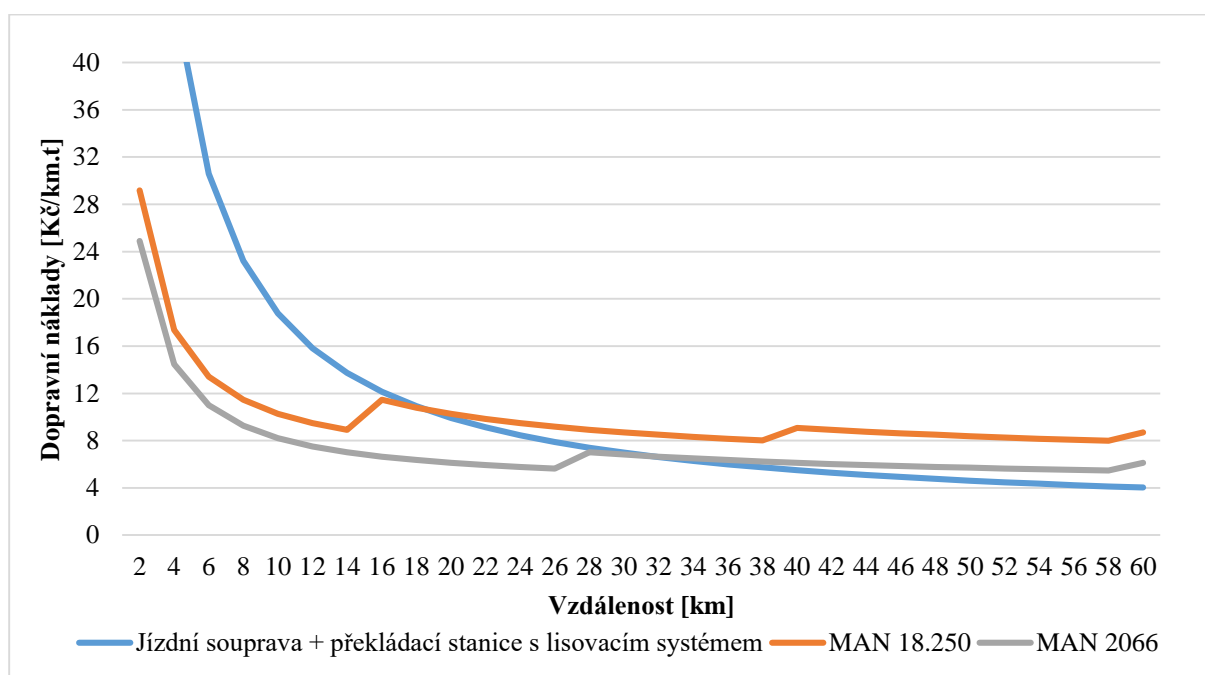
Další možností je vzájemně porovnávat svozové a odvozové dopravní prvky k potenciálnímu nalezení bodu zlomu a poukázání na ekonomickou výhodnost jednotlivých systémů. Nejdříve bylo nutné vytvořit základní pohledy na provozní náklady pro jízdní soupravu a KUKA vozy (MAN 18.250 a MAN 2066) za stejných podmínek. Stejně podmínky byly charakterizovány jednotnou odvozovou rychlostí – 60 km/h a mýtným systémem, který byl nastaven na hodnotu 0,7 (70 % trasy je využit mýtný systém). Následně byly vyčísleny dopravní náklady, kdy bylo zjištěno, že vždy ekonomicky výhodněji vychází jízdní souprava s lisovaným odpadem oproti KUKA vozům. Podobným srovnáním se zabývala i společnost Ergo Global Inc. [47].



Obr. 47: Vyčíslení dopravních nákladů pro scénář 30 kt/r bez nákladů na přeložení, 60 km/h, mýto 70 % trasy

Z provedených analýz (jednotná odvozová rychlost) lze konstatovat, že dominantní prvek, který hraje důležitou roli ve vyčíslení je odvezená kapacita, která se projeví na vyčíslení celkových nákladů. Množství odpadu v případě jízdní soupravy s lisovaným odpadem je téměř trojnásobné (25 t odpadu na jízdní soupravě) oproti KUKA vozům (8 – 10 t).

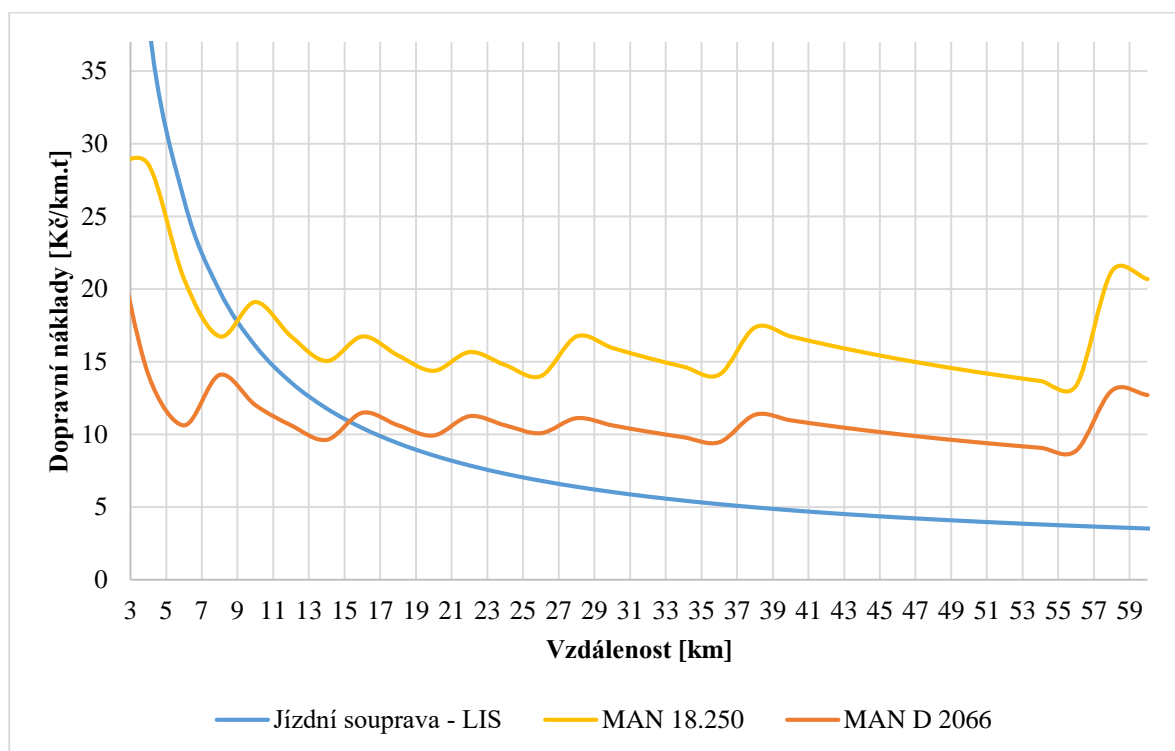
Další možnost relevantního srovnání je ve formě zahrnutí investičních nákladů překládací stanice s lisovacím zařízením do celkového systému. Scénář je vytvořen opět s jednotnou rychlostí – 60 km/h – pro jízdní soupravy a popelářské vozy. Obr. 48 – poukazuje na výhodnost systému u jízdní soupravy s překládací stanicí a lisovacím zařízením přibližně v cyklu (cesta tam i zpět) 18 km (dvounápravový KUKA vůz). V druhém případě se jedná o výhodnost jízdní soupravy v délce cyklu 28 km (třínápravový KUKA vůz).



Obr. 48: Vyčíslení dopravních nákladů pro scénář 30 kt/r s překládací stanicí

Poslední možnou úvahou o vyhodnocení ekonomické výhodnosti je možnost vytvoření simulací pro překládací stanice s lisovacím zařízením a jízdní soupravou v porovnání s KUKA vozy s odlišnými dopravními rychlostmi. V případě jízdní soupravy se jedná o rychlost 60 km/h na celé trase a v případě KUKA vozu o rychlost 20 km/h (rychlost složení z rychlosti sběrné a odvozové). Z provedených analýz, na obr. 49, lze z určitých pohledů chápat jako teoretický bod zlomu²³ vzdálenost 10 km, kdy se již ve scénářích projevila pozitivně výstavba překládací stanice a větší průměrná rychlost jízdní soupravy. Tedy cyklus pro KUKA vozy s délkou 10 km, lze chápat, za konkrétních podmínek, jako nevýhodný (vzhledem k časovému ovlivnění nízkou rychlostí). Tato určitá nevýhodnost může být charakterizována průměrným rychlostním parametrem, který je u KUKA vozů velmi důležitý ne-li stěžejní. V případě většího KUKA vozu se jedná o bod zlomu na vzdálenosti cyklu přibližně 15 km. Tímto lze podložit hlavní argumentaci a dopad korektního stanovení dopravních rychlostí pro jednotlivé systémy.

²³ Bod kilometrové vzdálenosti, kdy jeden systém se stává ekonomicky výhodnější



Obr. 49: Vyčíslení dopravních nákladů pro scénář 30 kt/r s překládací stanicí – odlišné rychlosti

Z provedených a následně testovaných analýz je možné konstatovat, že v závislosti na vhodně či nevhodně zvolených vstupních parametrech pro posuzovaný prvek, lze uvažovat o posunu bodu zlomu v rozmezí až 10 km. Vše se odvíjí od konkrétního scénáře a cíleně zvolených ovlivňujících parametrů KUKA vozů a překládací stanice.

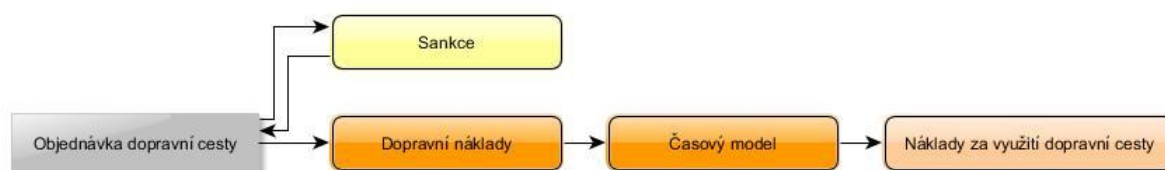
5.6 Železniční doprava

V předkládané disertační práci byl představen TE model pro silniční dopravu a klíčový výstup z projektu WtECC V007 Tool for proposal of waste supply chain (from producers to a treatment plant) s názvem Waste Transportation Prices (WTP). Dalšími aktivitami spojené s logistickou úlohou se ukázalo, že řešení železniční dopravy bude důležitá. Především při dopravních úlohách na větší vzdálenosti např. v případě celorepublikové úrovně či transportu do zahraničí. Kromě uvedené dálkové dopravy je nutné brát v potaz i potenciální výhodnost železniční dopravy na národní úrovni. Pro názornost lze uvést např. Německo či Rakousko, které při výstavbě EVO zařízení jsou vázáni dopravní obslužností až 95 % pouze po železnici – i za předpokladu, že ekonomika daného druhu dopravy je záporná (nerentabilní bez další podpory – dotace, podpora kraje, soukromého subjektu). Dalším „zeleným“ aspektem je ekologicky zajímavá varianta pro dopravu – minimum tvorby emisí, hluková zátěž aj.

V oblasti železniční dopravy byla navázána spolupráce se společností SD - Kolejová doprava (dále jen „SD-KD“, dceřiná společnost Skupiny ČEZ). SD-KD jsou specialisté na železniční systémy, logistiku a plánování v oblasti železniční dopravy. Hlavní náplní společnosti SD-KD

je železniční doprava vápence a uhlí do elektráren společností ČEZ. V tomto ohledu byla poskytnuta základní datová sada, informace o infrastruktuře a cenné zkušenosti z provozu.

Tyto informace byly klíčové pro zpracování TE modelu železniční dopravy a informace o železniční infrastruktuře sloužily pro prvotní úvahy o možné dopravě na úrovni České republiky. Taktéž byly vytvořeny prvotní mapové podklady železničních sítí pro Českou republiku. Cílem TE modelu bylo popsat stěžejní ekonomické parametry, které jsou dominantní v oblasti železniční dopravy. Toto zpracování bylo klíčové, protože železniční doprava je odlišná od dopravy silniční. TE model železniční dopravy se velkou měrou odlišuje od TE modelu silniční dopravy a je to z důvodu odlišného systému logistiky. Základní schéma je zobrazeno na obr. 50.



Obr. 50: Základní schéma řešení železniční dopravy

Jednoduše řečeno v oblasti železniční dopravy je nutné dodržovat přidělené jízdní kapacity, tj. jízdní řády. Každá dopravní cesta, která je v rámci železniční dopravy realizována tak ji předchází objednávka. Objednávka je buďto roční (zakomponování do jízdních řádů – pravidelné využívání dopravních cest) nebo v systému Ad-Hoc (objednávka na několik dní nebo týdnů dopředu – jednorázová cesta). Současně při nevyužití kapacity, resp. zrušení objednané dopravní cesty se platí sankce. Veškeré kalkulační vzorce jsou přehledně zpracovány v Příloze č. 3, v této kapitole je uveden pouze kalkulační vzorec za využití dráhy.

Vzhledem k vysoké investici do železničních souprav je TE model postaven pro dva scénáře – nákupu železniční soupravy (lokomotiva, vagóny a kontejnery) nebo s alternativní možností pronájmu souprav. Dále model zpracovává jednotlivé železniční úseky dle kategorií. Náklady na využití jednotlivých kategorií tratí jsou využity z volně dostupných informací ze Správy železniční dopravních cest (dále jen „SŽDC“).

Výstupy z TE modelu budou prezentovány v případě nákupu železničních souprav. V závislosti na informacích ze SŽDC, byla využita *tab. 8*, která stanovuje základní koeficientní ceny nákladní železniční dopravy. Indexové značení *E*, *C* nebo *R* definuje kategorii tratí. Dodatečné indexování písmenem *e* pro kategorie *E*, *C* a *R* se používá při nedodržení emisních limitů.

Tab. 8: Základní ceny za použití dráhy pro jízdu vlaku nákladní dopravy [48]

Druh ceny	Jednotka výkonu	Cena za jednotku výkonu v Kč
S_{1E}	vlkm	36,1
S_{1C}	vlkm	35,33
S_{1R}	vlkm	33,19
S_{2E}	1 000 hrtnm	49,23
S_{2Ee}	1 000 hrtnm	52,92
S_{2C}	1 000 hrtnm	43,88
S_{2Ce}	1 000 hrtnm	47,17
S_{2R}	1 000 hrtnm	33,6
S_{2Re}	1 000 hrtnm	36,12

Základní cena pro železniční dopravu vychází z následujícího kalkulačního vzorce [48]:

$$C_Z = C_1 + C_2 \quad [Kč]$$

C_1 [Kč] je cena za použití dráhy pro jízdu vlaku v segmentu výkonů měřených ujetými vlakovými kilometry a C_2 [Kč] je cena za použití dráhy pro jízdu vlaku v segmentu výkonů měřených hrubými vlakovými kilometry.

$$C_1 = S_{1E} \cdot L_E + S_{1C} \cdot L_C + S_{1R} \cdot L_R \quad [Kč]$$

S_1 [Kč] je cena za 1 km jízdy vlaku (vlkm) po trati kategorie E, C nebo R. Ceny S_1 pro vlaky nákladní dopravy jsou stanoveny v Tab. 8. L_E , L_C , L_R je vzdálenost [km] ujetá vlakem po trati kategorie E, C nebo R.

$$C_2 = S_{2E} \cdot Q \cdot L_E + S_{2C} \cdot Q \cdot L_C + S_{2R} \cdot Q \cdot L_R \quad [Kč]$$

S_2 [Kč] je cena za 1 000 hrubých tunových kilometrů (hrtnm) převezených po trati kategorie E, C nebo R. Ceny S_2 pro vlaky nákladní dopravy jsou stanoveny v Tab. 8. Pro vlaky osobní i nákladní dopravy jsou stanoveny ceny S_2 , diferencované s ohledem na množství emisí, produkovaných spalovacími motory hnacích vozidel nezávislé trakce jedoucích po elektrifikovaných úsecích tratí. Q [tis. hrubých tun] je 1 tisícina hrubé hmotnosti vlaku v tunách. Hmotností vlaku se rozumí součet hmotností všech vozidel vlaku včetně hmotnosti cestujících nebo nákladu. Nositelem informace o hmotnosti vlaku pro výpočet základní ceny jsou prvky souboru provozních informačních systémů (SPIS). Cena C_2 se vypočítá zvlášť pro každý traťový úsek, projetý daným vlakem po změně jeho hmotnosti (přivěšení nebo odvěšení vozidel, změna charakteru vlaku osobní dopravy z kategorie obsazený cestujícími na kategorii soupravový nebo naopak). Zdrojem informace o hmotnosti jednotlivého vozidla je registr vozidel REVOZ, pokud data některého drážního vozidla dosud nebyla do REVOZ doplněna, stanoví se hmotnost prázdného vozidla a nákladu z jiných odpovídajících zdrojů (technické

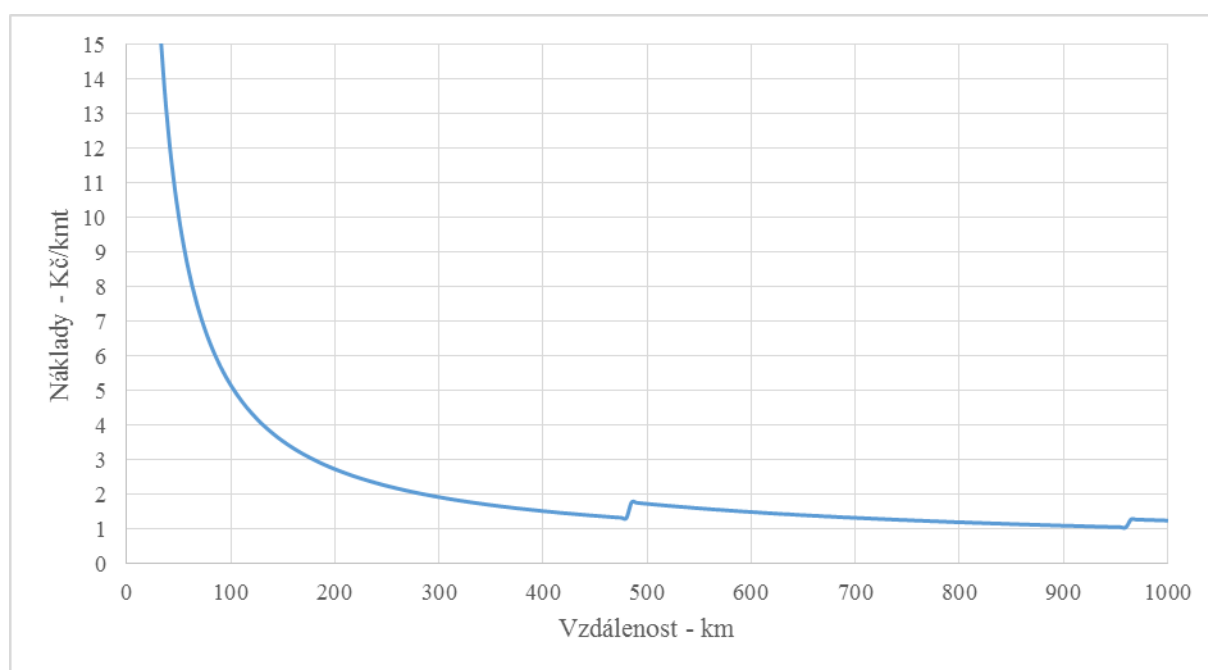
pasporty, nákladní listy aj.) se zaokrouhlením na celé tuny nahoru. L_E , L_C , L_R je vzdálenost [km] ujetá vlakem po trati kategorie E, C nebo R.

Výše uvedenou základní cenu lze chápat jako formu variabilních nákladů v oblasti železničních systému. Autor předkládané práce zavedl ještě amortizační koeficient pro jízdní soupravu vztaženou na 1 km. Výstupem z TE modelu je cena za dopravu $K\check{c}/km \cdot t$, resp. $K\check{c}/t$. Kromě výsledné dopravních cen model dokáže zpracovat i počet železničních souprav, pracovní cykly, vytiženost v rámci časového hlediska (denní/týdenní/měsíční/roční báze).

Prezentace základních výstupů z TE modelu bude demonstrována na dvou vybraných scénářích:

- Scénář č. 1 – 100 kt/rok
- Scénář č. 2 – 200 kt/rok

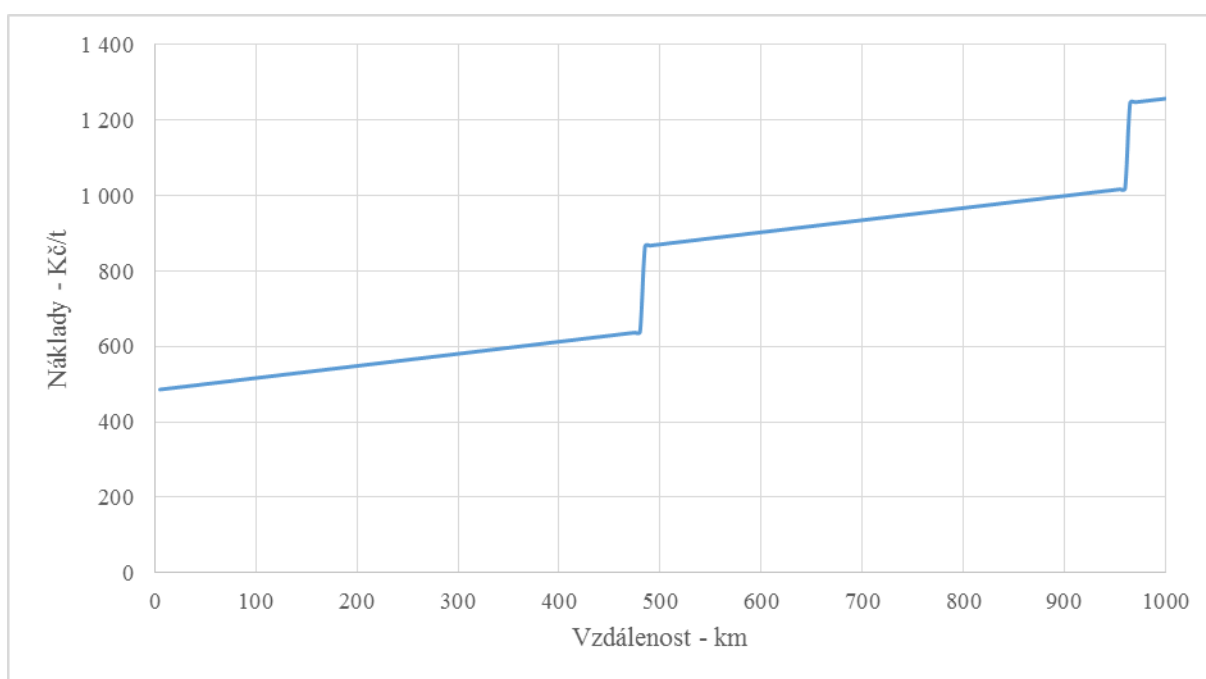
Model byl nastaven pro nepřetržitou pracovní dobu a dvousměnný provoz, tj. 12 hod/den. Jízdní souprava je uvažována ve složení jedné lokomotivy, dvaceti vozů a dvou kontejnerů typu InnoFreight XXL Trainer (46 m³) na každém voze. K modelování železniční dopravy je přistoupeno z pohledu maximálního využití železniční soupravy pro dopravu odpadů, jak z pohledu časového, tak i kapacitního. Celkový výpočet dopravní ceny je generován bez zisku. V modelu je implementována i možnost navýšení zisků v případě nájezdového počtu kilometrů či nákladů na jednu převezenou tunu odpadu. Pro prezentaci výstupů byla uvažována vzdálenost až 1 000 km a je to v případě možnosti modelování ZEVO nadregionálního významu. V případě republikových nájezdů při logistice odpadu se jedná o vzdálenost až 600 km (úvaha jednoho cyklu tam i zpět). Dopravní náklady ve stovkách km nelze vyloučit ani v případě zpracování odpadů mimo Českou republiku v důsledku chybějících zpracovatelských kapacit.



Obr. 51: Dopravní náklady pro roční kapacitu 100 kt – Kč/km·t

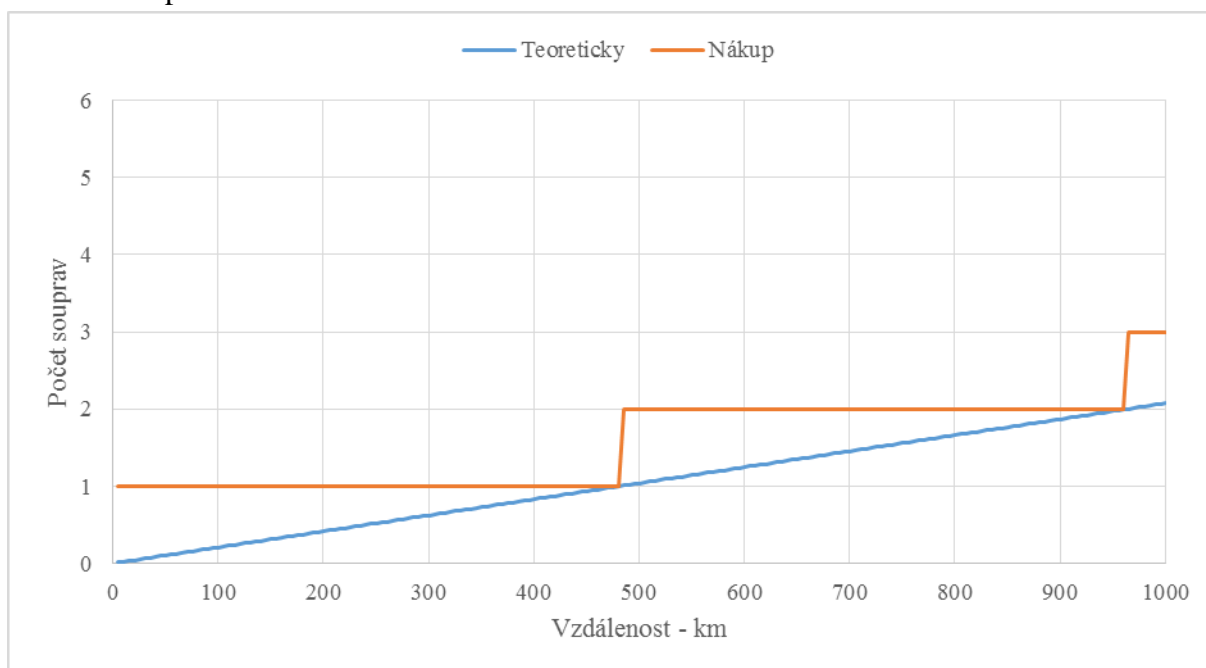
Dopravní náklady pro scénář č. 1 jsou prezentovány na obr. 51. V kapitole silniční dopravy byla uvedena informace o výhodnosti silniční dopravy do cca 230 km, tj. celkový cyklus cca 460 km (tam i zpět), argumentace výhodnosti na základě ceny a vzdálenosti se zabývala studíe multimodální přepravní systémy²⁴. Tento argument lze podložit reálnou pracovní dobou řidičů 8 hod/den, resp. 9 hod/den (2 x do týdne až 10 hod/den, dle platné legislativy). Tedy, aby byla dodržena denní pracovní doba, pro jednoho řidiče v silniční dopravě, lze uvažovat o vzdálenosti cca 460 km/den. Dalším vypovídajícím argumentem je dopravní cena. V případě silniční dopravy, se cena na uvedenou maximální vzdálenost pohybuje cca kolem 1,5 Kč/km·t v případě železniční dopravy cena na úrovni 1,5 Kč/km·t se objevuje řádově při 400 km, vše závisí na celkovém nastavení modelu a především přepravovaném množství odpadu.

²⁴ Dostupné z <https://www.fd.cvut.cz/projects/k612x1mp/dokumenty/silnice-versus-kp.pdf>



Obr. 52: Dopravní náklady pro roční kapacitu 100 kt – Kč/t

Vyčíslení dopravní ceny v jednotce Kč/t je zobrazeno na obr. 52. Stoupající tendence je z důvodu vyšších variabilních nákladů pro větší vzdálenost. Skok ve vzdálenosti cca 500 km představuje nutný nákup další jízdní soupravy. Nákup jízdních souprav je závislý na počtu denních cyklů (dopravní vzdálenost, fond pracovní doby, průjezdnost tras, počet a délka směn, průměrná dopravní rychlost, zdržení na trase a nakládce aj.) a celkovému přepravovanému množství odpadu.



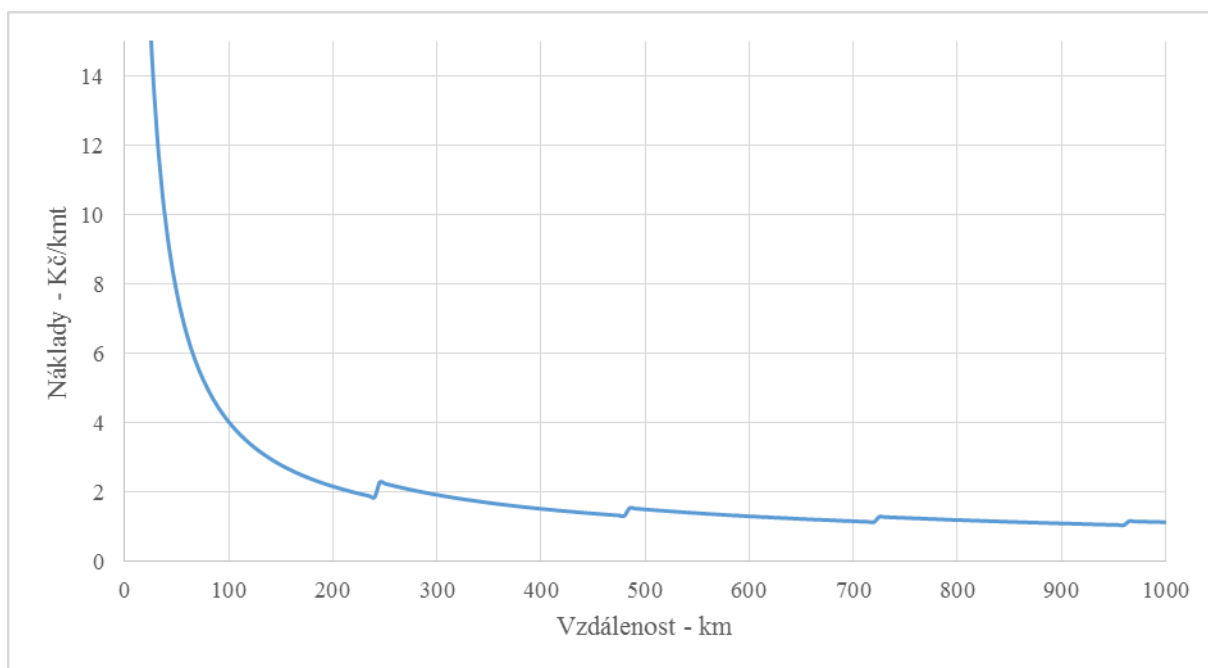
Obr. 53: Nutný počet souprav pro roční kapacitu 100 kt

Kromě výše uvedených dopravních cen model dokáže popsat nutný počet železničních souprav obr. 53. Položka „Nákup“ popisuje počet souprav, které je nutné koupit pro dodržení určité vzdálenosti a přepravovaného množství odpadu. V případě „Teoreticky“ se jedná o křivku, která stanovuje vytíženost železniční soupravy na určitou vzdálenost a se stanoveným množstvím odpadu. Tyto dvě analýzy byly realizovány z dvou pohledů využití TE modelu. První „Nákup“ slouží ke stanovení počtu souprav např. z pohledu provozovatele či investora, kdy lze stanovit přes technicko-ekonomický model, v závislosti na zvolených parametrech, nutný počet železničních souprav pro konkrétní případ. Ovlivňující parametry jsou zejména:

- **Pracovní doba** – fond pracovní doby denní, měsíční a roční.
- **Průměrná rychlost železničního systému** s možností rozdělení dle využitých kategorií tratí.
- **Nájezdová vzdálenost** – obslužné území pro dopravu odpadu po železnici s přihlédnutím na využití kategorií tratí.
- **Zdržení** na nakládce, vykládce či překládání = **časový model**.
- **Roční převezené množství odpadu**

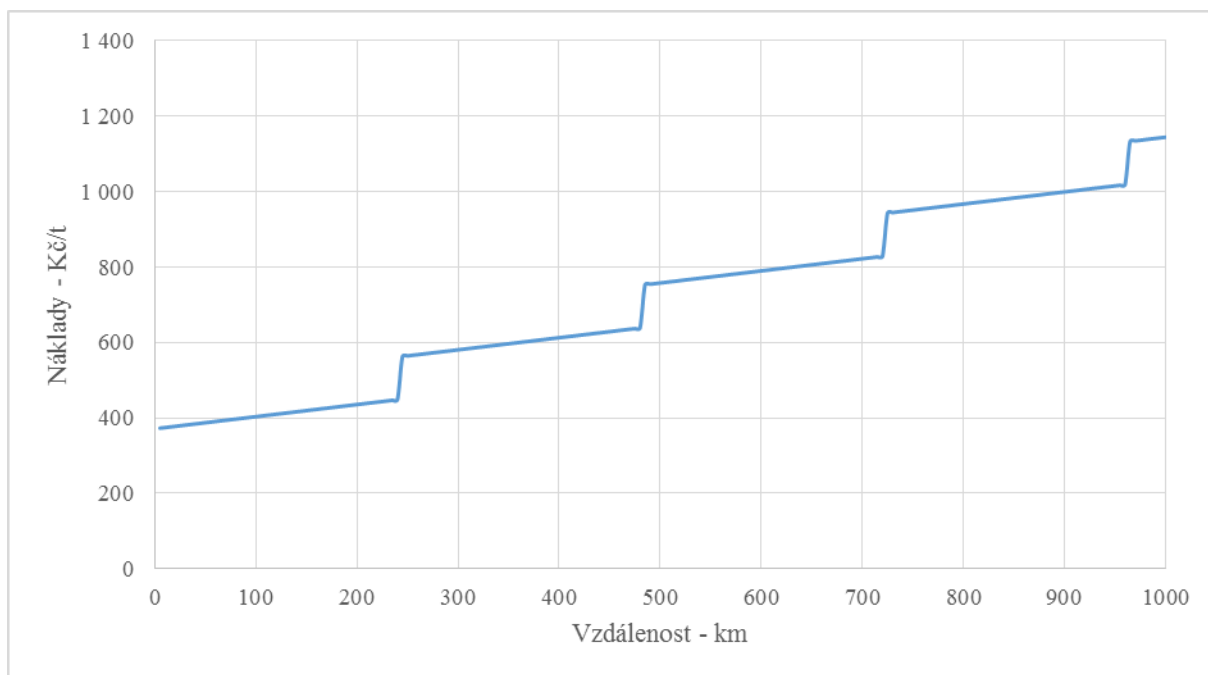
V druhém případě se jedná o matematické pohled na věc, tj. „Teoreticky“, kdy informace slouží k nacenění uvažovaných železničních cest (hran). Je to z důvodu nezaokrouhlování počtu jízd souprav, protože při celočíselné úvaze, by se výpočet choval tak, že každou hranu vozí jedna železniční souprava, která nebude nikdy maximálně vytížena. Důsledek by byl takový, že železniční doprava by byla na úsecích velmi nákladná. Cíl je, aby náklady (odpisy či mzdové náklady) byly rozděleny pro více hran.

Analogicky jsou výstupy vytvořeny pro scénář č. 2 s roční kapacitou 200 kt.



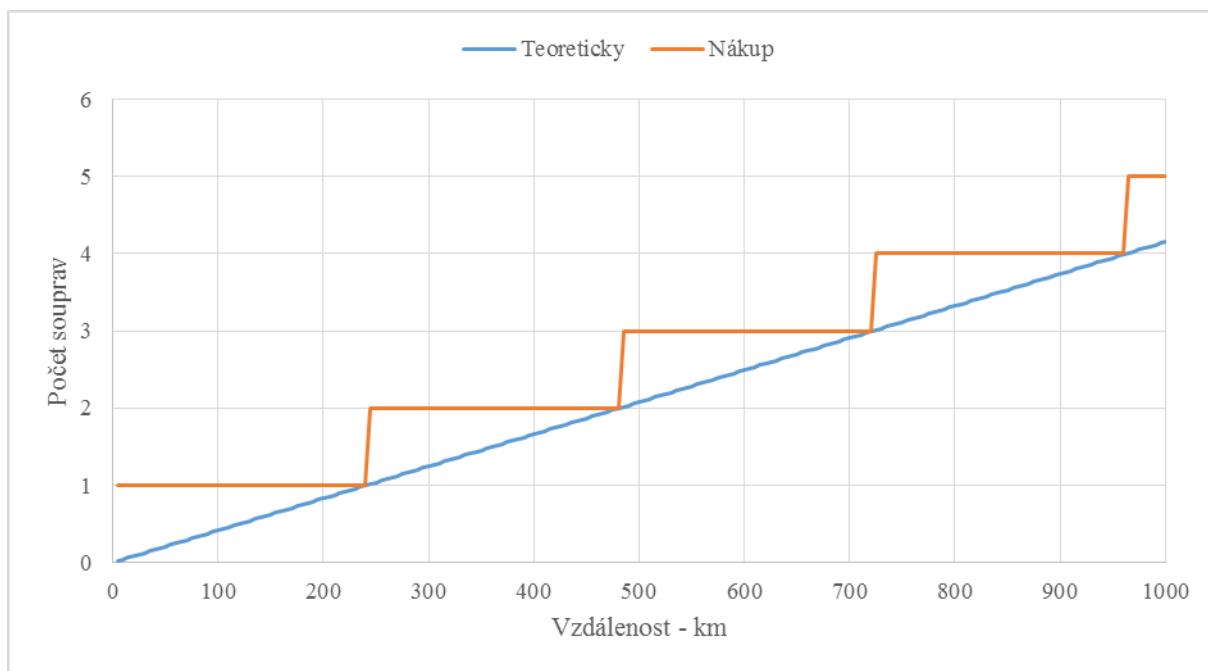
Obr. 54: Dopravní náklady pro roční kapacitu 200 kt – Kč/km·t

Z obr. 54 je patrné, že náklady pro roční kapacitu 200 kt, jsou principiálně nižší i za předpokladu nutného nákupu více vlakových souprav. V tomto případě až čtyř železničních souprav, počet souprav závisí na dopravní vzdálenosti a je charakterizován skoky na křivkách.



Obr. 55: Dopravní náklady pro roční kapacitu 200 kt – Kč/t

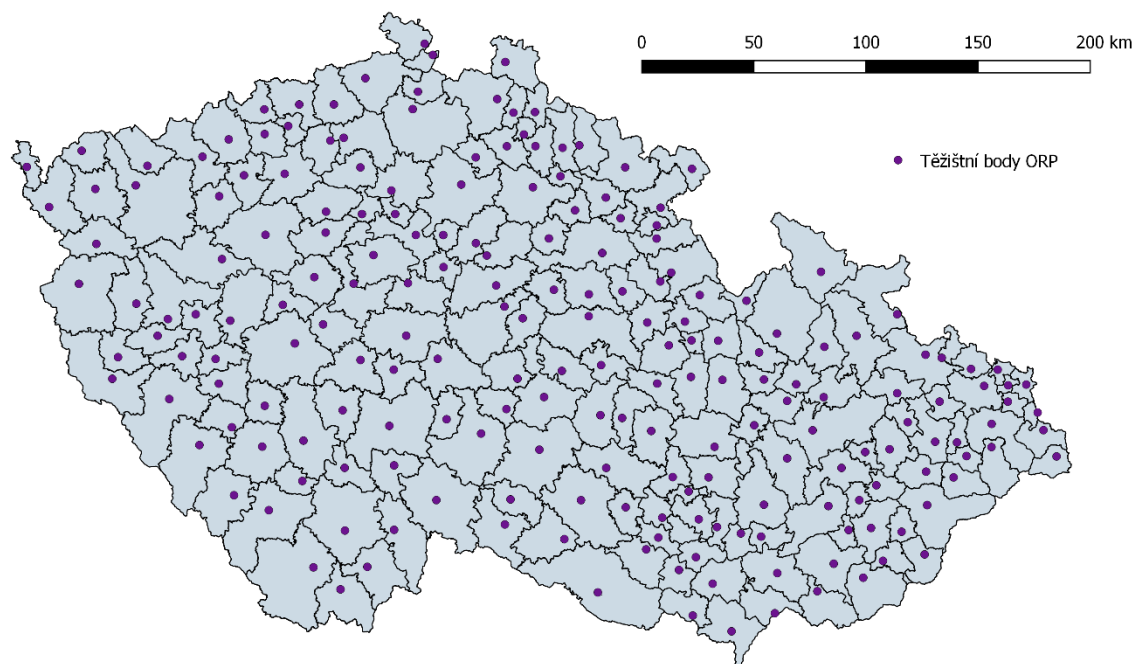
Vyčíslení dopravních nákladů pro kapacitu 200 kt/rok je zobrazeno na obr. 55. Velice zajímavé je vzájemné porovnání v případě 100 kt/rok a 200 kt/rok. V případě, že vybereme nájezdovou vzdálenost 200 km cena za 1 t odpadu, za výše uvedených argumentů, vychází doprava na cca 420 Kč/t (obr. 55) a na cca 580 Kč/t (obr. 52). Náklady pro nižší kapacitu (100 kt/rok) jsou vyšší přibližně o 40 %, jak v případě vyšší kapacity (200 kt/rok).



Obr. 56: Nutný počet souprav pro roční kapacitu 100 kt

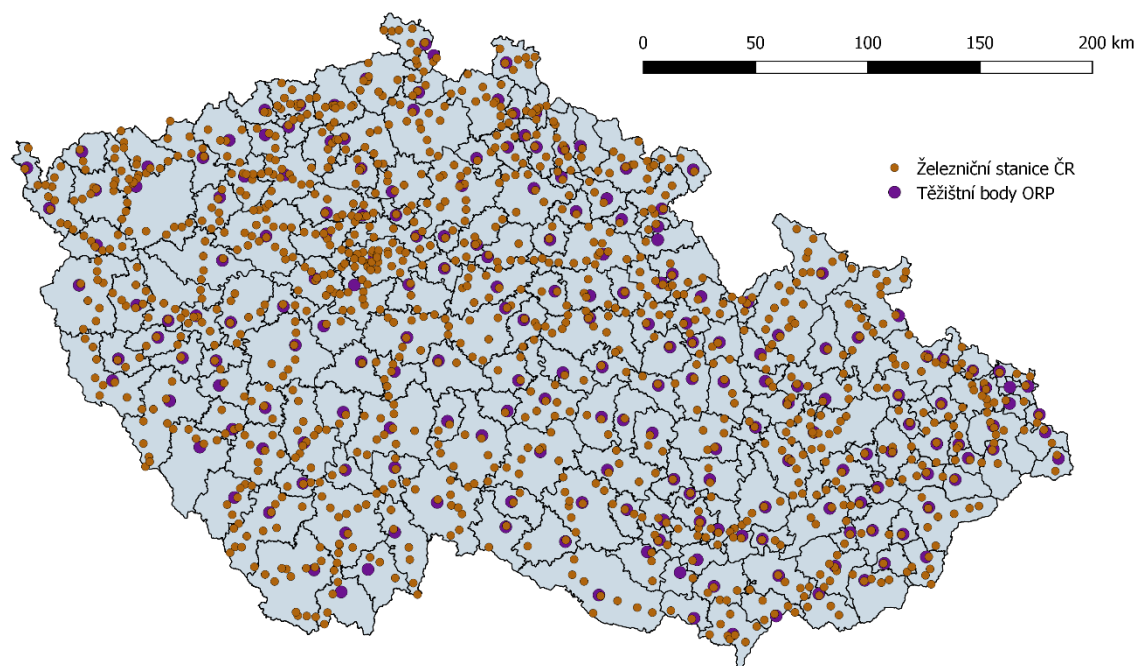
V oblasti nutného nákupu a teoretického počtu železničních souprav je pro názorný popis vytvořen obr. 56.

Dalším krokem pro reálné simulace dopravních cest bylo přizpůsobení železniční dopravy do nástroje *NERUDA*. V rámci silniční dopravy bylo vytvořeno 206 bodů, které charakterizují ORP. Body jsou vytvořeny jako těžištní body na základě hustoty obyvatel a byly vytvořeny ve spolupráci s Centrem Dopravního Výzkumu, v. v. i. v dílčím cíli DC04.2. (3/2015), projektu WtECC - obr. 57. K vytvoření železniční sítě bylo přistoupeno na základě volně dostupných zdrojů společnosti SŽDC. Železniční síť byla vytvořena pro celou Českou republiku v návaznosti na vytipované těžištní body ORP.



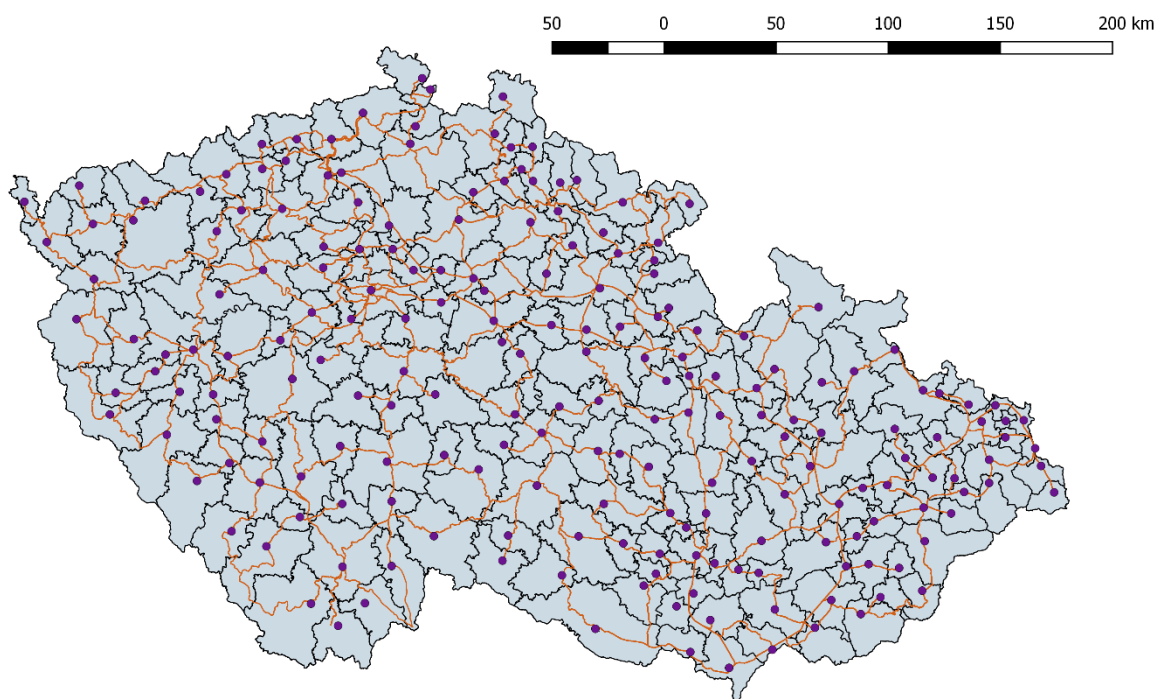
Obr. 57: Zobrazení těžištních bodů ORP pro Českou republiku

Dále byly zmapovány všechny železniční stanice, celkem se jedná o 1 120 záznamů - obr. 58. Tyto železniční stanice byly dále vytrženy a vybrány nejvhodnější, které na základě vzdálenosti jsou nejbližší k těžištním ORP. Toto je klíčový krok pro identifikaci dopravních sítí pro intermodální dopravu.



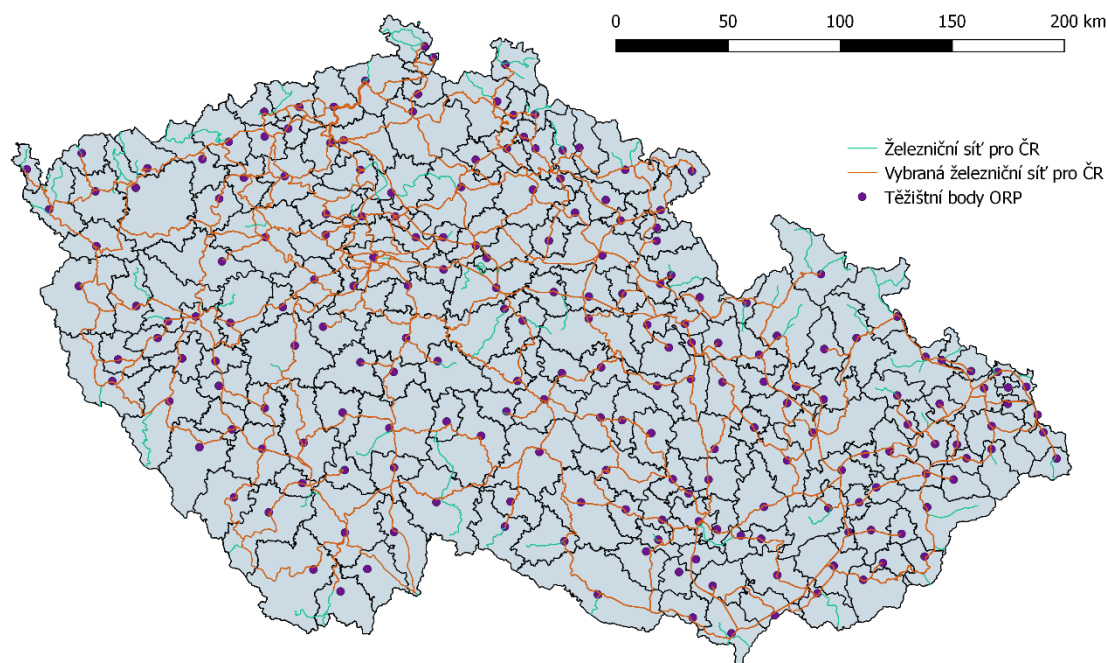
Obr. 58: Zobrazení železničních stanic v České republice

Byla popsána celková dopravní železniční síť bez zohlednění možného zatížení či dalších parametrů. Zobrazení vytvořené dopravní železniční sítě je na obr. 59, který popisuje železniční síť na území České republiky. Železniční síť byla vytvořena pro nejkratší železniční propojení mezi těžištními body ORP.



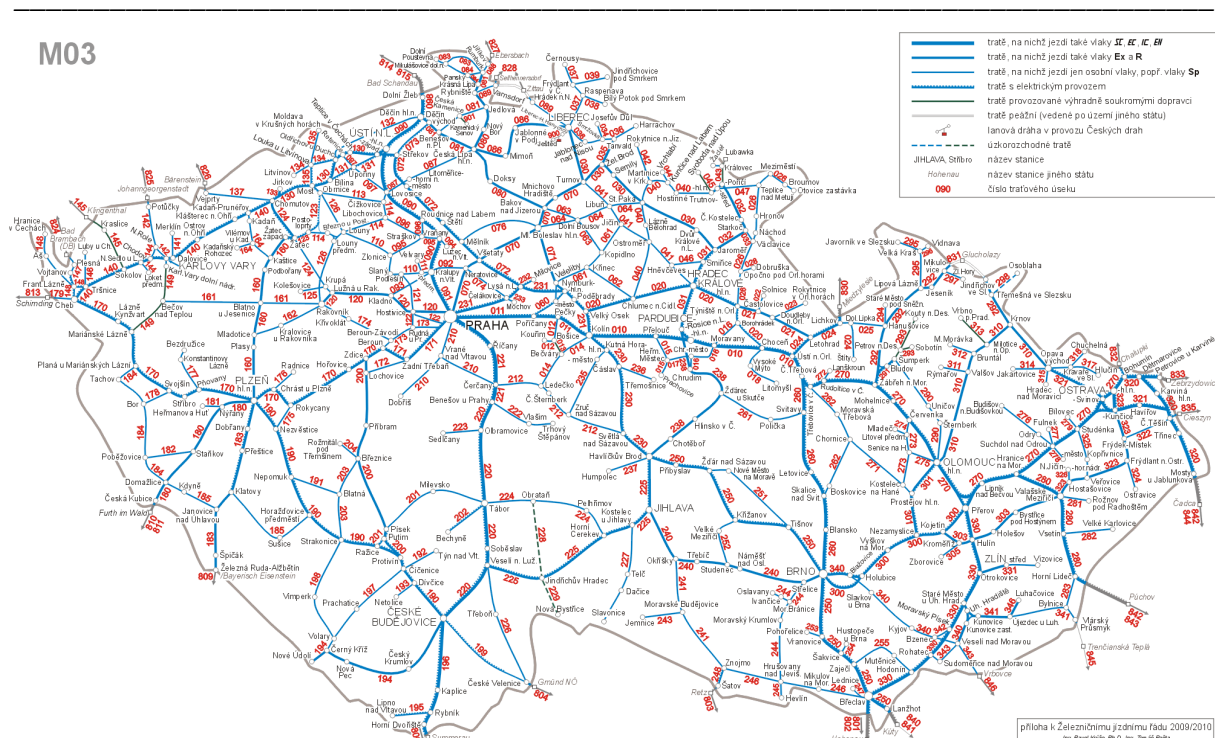
Obr. 59: Zobrazení železniční sítě pro Českou republiku – nejkratší vzdálenosti

Pro porovnání je uveden obr. 60 s celkovou železniční sítí (zelená barva) vs. vybraná železniční sítí (červená barva). Pro názornost lze uvést např. Jesenicko nebo téměř veškeré příhraničí, kde došlo k odstranění železničních sítí.



Obr. 60: Zobrazení železniční sítě pro Českou republiku – celková síť vs. vybraná síť

Dalším krokem v oblasti mapování železničních sítí bylo vytvoření matice vzdáleností – komplexní propojení. Těžišní body ORP byly napojeny na železniční síť pomocí vzdušného kruhu. Z těžišního bodu ORP byl vytvořen kruh o poloměru 8 km a vybrána nejbližší železniční trasa. Přibližně 95 % železničních tras leželo do vzdálenosti cca 4 km od těžiště ORP. Při větších vzdálenostech (více jak 8 km) docházelo k párování tras z jiných ORP. Dále byly popsány veškeré železniční stanice, aktuálně bez zohlednění, zda je na daném místě reálná či nereálná nakládka nákladních vlaků. Tento krok byl v řešené problematice zcela relevantní, protože byl vytvořen seznam nejbližších železničních cest k danému těžištnímu bodu ORP. Uvažované železniční stanice byly mezi sebou propojeny pomocí vypočtených vzdáleností. Nakonec tento přístup se projevil jako „slepá“ ulička a byla využita mapa železniční sítě od SŽDC, která byla zpracovaná do vhodné podoby na základě volně dostupných informací.



Obr. 61: Mapa železniční sítě ke knižnímu jízdnímu řádu²⁵

Na základě obr. 61 byl vytvořen soupis železničních stanic a napáření stanic na dopravní cesty dle značení a identifikace SŽDC = klíčové pro identifikaci v reálném provozu. Současně proběhlo propáření s identifikací pro nákladní dopravu s dokumentem [48]. Celkově bylo zpracováno cca 400 železničních stanic. Bez zohlednění, zda na dané železniční stanici lze realizovat nákladní dopravu či nikoli. Dalším krokem bylo zjištění vzdáleností jednotlivých úseků mezi vybranými stanicemi. Tento krok byl realizován na základě volně dostupných informací vybrané dopravní cesty, např. pro dopravní cestu č. 251, která vede ze Žďáru nad Sázavou, přes Nové Město na Moravě do Tišnova byly odečteny vzdálenosti dle informací o dopravní cestě. Pro uvedenou dopravní cestu byla zjištěna celková vzdálenost 62 km, kde vzdálenost ze Žďáru nad Sázavou do Nového Města na Moravě po železnici je 14 km a vzdálenost ze Žďáru nad Sázavou do Tišnova je 62 km. Takto byla vytvořena celková železniční síť dle obr. 61, jednalo se celkově o 810 hran a přibližně 200 dopravních cest.

²⁵ Dostupné z <https://www.szdc.cz/o-nas/zeleznicni-mapy-cr.html>

Dalším krokem bylo každou hranu identifikovat na základě parametrů, jednalo se o následující zájmové parametry:

- GPS X.
- GPS Y.
- Nadmořská výška.
- Maximální traťová rychlost uvedená v km/h.
- Normativ délky osobního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedený v m.
- Normativ délky nákladního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedený v m.
- Největší povolená délka nákladního vlaku (včetně hnacích vozidel) uvedená v m.
- Maximální sklon tratě uvedený v ‰.
- Dovolené traťové třídy zatížení.
- Cílová kategorie tratě podle TSI INF – osobní.
- Cílová kategorie tratě podle TSI INF – nákladní.
- Hlavní nebo globální síť v osobní dopravě.
- Hlavní nebo globální síť v nákladní dopravě.
- Kategorie dráhy.

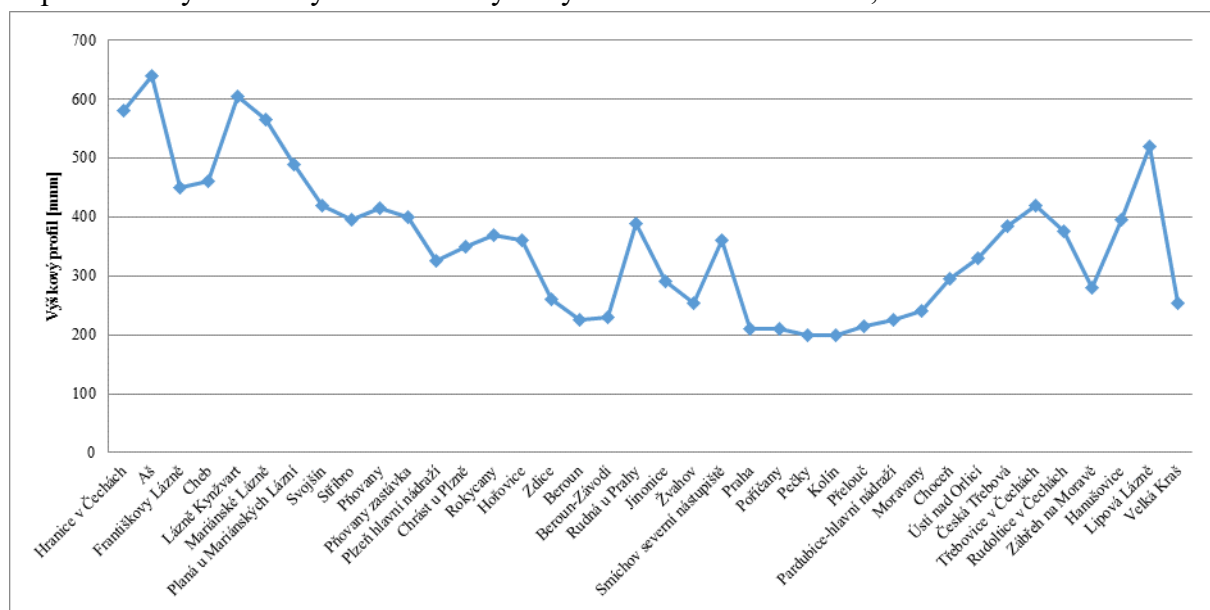
Výše uvedené parametry železničních dopravních cest jsou důležité především v oblasti plánování dopravních cest či skladby železničních souprav. Jedná se zejména o korektní volbu železničních vozů, celkovou váhu soupravy v kontextu sklonových poměrů a mnoho dalšího. Sklonové poměry hrají důležitou roli z pohledu adheze²⁶ při brzdění či rozjezdů do kopců, taktéž se adhezní vlastnosti přenášejí do ekonomiky dopravní úlohy, protože v případě velkých sklonových poměrů je nutné využívat přídatné (tlačné či tažné) lokomotivy (investiční náročnost). Kromě uvedených parametrů bylo nutné stanovit nadmořskou výšku vybraných železničních stanic a jejich přesnou polohu dle GPS souřadnic. Nadmořská výška stanic byla zjištěna pro všechny vybrané stanice z volně dostupných informací a GPS souřadnice byly odečteny z Google Maps na základě přesné lokality nádraží. Jakmile byly známy základní charakteristiky, byla vytvořena matice vzdáleností všech vybraných železničních stanic, ukázka částice matice je na obr. 62.

²⁶ Jedná se o schopnost trakčního vozidla předávat tažnou či tlačnou sílu, typickým jevem je prokluz kol

	Břeclav	Hodonín	Rohatec	Moravský	Staré Město	Otrokovice	Hulín	Přerov	Sudoměř	Veselí nad	Brno	Blažovice	Slavkov u	Kyjov
Břeclav		21,013	28,124	41,294	54,884	71,811	85,381	100,322	35,124	49,124	59	79	86	72,124
Hodonín	21,013		7,111	20,281	33,871	50,798	64,368	79,309	14,111	28,111	77,492	97,492	91,111	51,111
Rohatec	28,124	7,111		13,17	26,76	43,687	57,257	72,198	7	21	84,603	91	84	44
Moravský Písek	41,294	20,281	13,17		13,59	30,517	44,087	59,028	20,17	34,17	97,773	104,17	97,17	57,17
Staré Město u Uherského Hradiště	54,884	33,871	26,76	13,59		16,927	30,497	45,438	33,76	47,76	111,363	117,76	110,76	70,76
Otrokovice	71,811	50,798	43,687	30,517	16,927		13,57	28,511	50,687	64,687	103,731	123,731	127,687	87,687
Hulín	85,381	64,368	57,257	44,087	30,497	13,57		14,941	64,257	78,257	90,161	110,161	117,161	101,257
Přerov	100,322	79,309	72,198	59,028	45,438	28,511	14,941		79,198	93,198	90,124	110,124	117,124	116,198
Sudoměř nad Moravou	35,124	14,111	7	20,17	33,76	50,687	64,257	79,198		14	91,603	84	77	37
Veselí nad Moravou	49,124	28,111	21	34,17	47,76	64,687	78,257	93,198	14		90	70	63	23
Brno	59	77,492	84,603	97,773	111,363	103,731	90,161	90,124	91,603	90		20	27	67
Blažovice	79	97,492	91	104,17	117,76	123,731	110,161	110,124	84	70	20		7	47
Slavkov u Brna	86	91,111	84	97,17	110,76	127,687	117,161	117,124	77	63	27	7		40
Kyjov	72,124	51,111	44	57,17	70,76	87,687	101,257	116,198	37	23	67	47	40	
Bzenec	59,124	38,111	31	44,17	57,76	74,687	88,257	103,198	24	10	80	60	53	13
Kunovice zastávka	61,124	40,111	33	46,17	59,76	76,687	90,257	105,198	26	12	102	82	75	35
Uherské Hradiště	65,124	44,111	37	50,17	63,76	80,687	94,257	109,198	30	16	106	86	79	39
Šakvice	25	43,492	50,603	63,773	77,363	94,29	107,86	122,801	57,603	71,603	34	54	61	94,603
Hustopeče u Brna	31,8	50,292	57,403	70,573	84,163	101,09	114,66	129,601	64,403	78,403	40,8	60,8	67,8	101,403
Zaječ	19	37,492	44,603	57,773	71,363	88,29	101,86	116,801	51,603	65,603	40	60	67	88,603
Mutěnice	31,247	10,234	17,345	30,515	44,105	61,032	74,602	89,543	24,345	38,345	67,258	87,258	94,258	61,345
Zlín	81,931	60,918	53,807	40,637	27,047	10,12	23,69	38,631	60,807	74,807	113,851	133,851	137,807	97,807
Vizovice	96,361	75,348	68,237	55,067	41,477	24,55	38,12	53,061	75,237	89,237	128,281	148,281	152,237	112,237

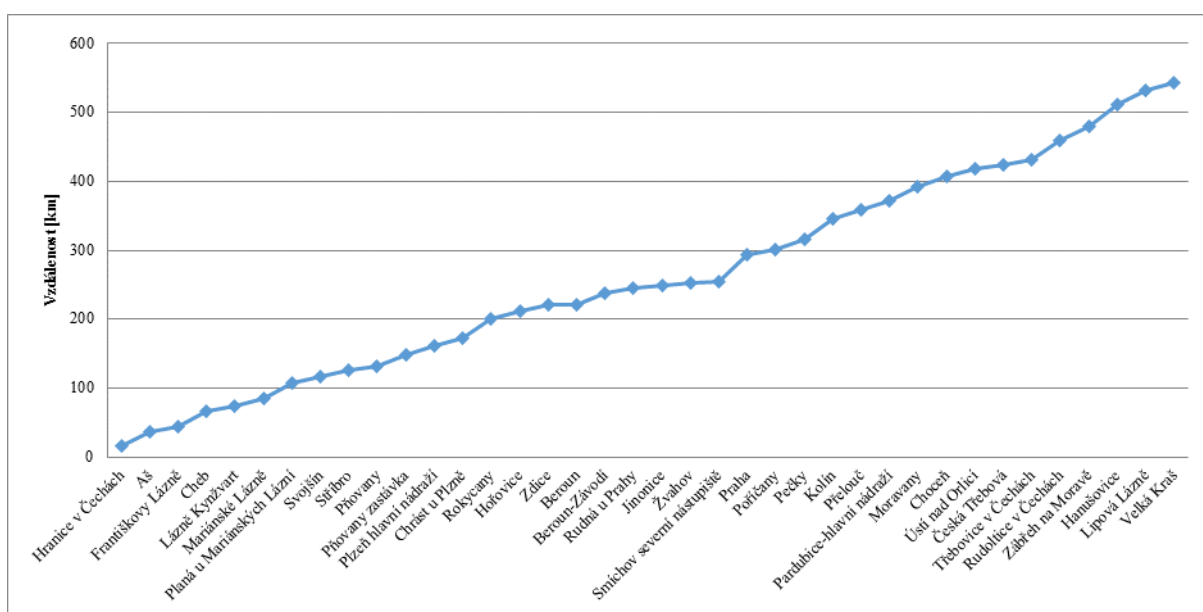
Obr. 62: Matice vzdáleností, ukázka několika vybraných železničních cest

Aby bylo možné s maticí dále pracovat a dále ji implementovat do potřebných výpočtů, byl vytvořen algoritmus automatického generátoru, který na základě dvou vybraných stanic nalezne nejkratší dopravní cestu. Současně s využitím databáze lze generovat základní profil vybrané dopravní cesty ze známých nadmořských výšek železničních stanic, viz obr. 63.



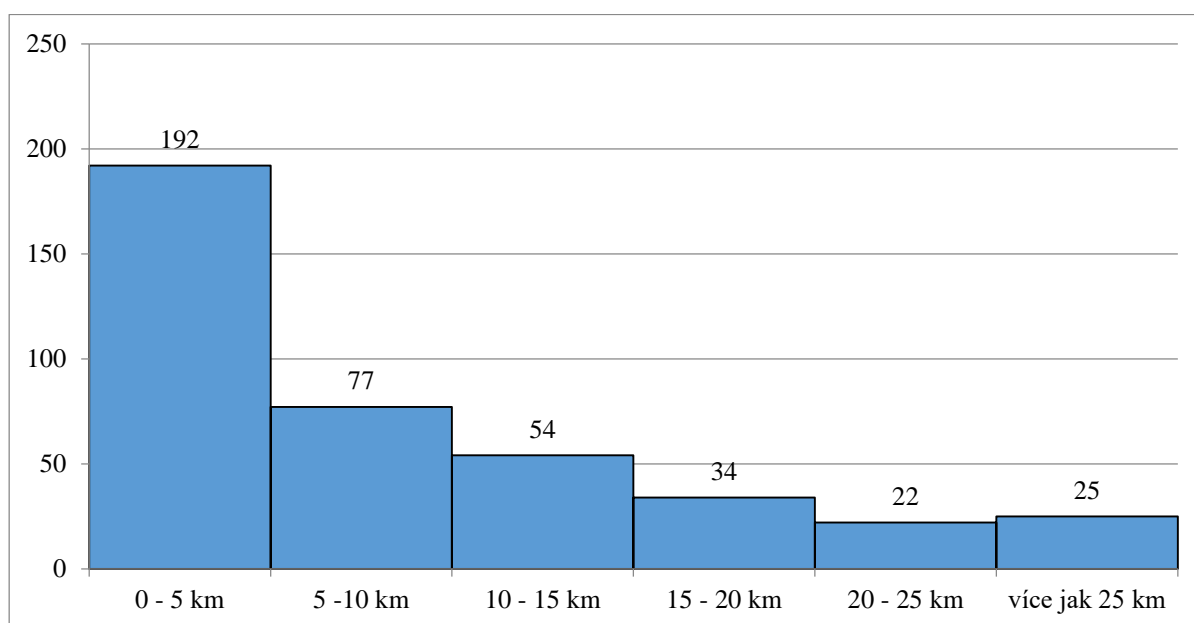
Obr. 63: Železniční doprava, výškový profil trati na vybrané dopravní cestě

K dispozici v databázi je možnost generování kilometrové vzdálenosti, včetně průjezdových železničních stanic, viz obr. 64



Obr. 64: Železniční doprava, vyhodnocení délky dopravní cesty

Na základě prezentovaných výstupů, bylo nutné se zabývat i charakteristikou železničních stanic. Každá stanice byla popsána GPS souřadnicí a nadmořskou výškou. Aktuálně nebyl důraz kladen na možnost realizace nákladní dopravy, ale pouze stanici identifikovat a přiřadit k příslušnému ORP a kraji. Tento údaj je velmi důležitý, protože nástroj *NERUDA* aktuálně pracuje na úrovni ORP. Vytvořená databáze je do budoucna připravena i pro možnost generování výstupu v oblasti intermodální dopravy takovým způsobem, že vybrané železniční stanice jsou přiřazeny k příslušným ORP a je známa vzdálenost do těžištního bodu ORP. Vzdálenosti z vybraných stanic do těžištních bodů byly odečteny na základě Google Maps. Výsledný histogram, intermodální dopravy, je zobrazen na obr. 65, z kterého je patrné, že téměř 50 % stanic leží do nájezdové vzdálenosti 5 km od vytvořených těžištních bodů ORP, 10 % železničních stanic leží ve vzdálenosti nad 20 km.



Obr. 65: Histogram vzdáleností železničních stanic do jejich těžištních ORP

Lze konstatovat, že pro optimalizace dopravních železničních cest na území ČR je rozpracován funkční databázový systém, který dokáže, na základě nejkratší vzdálenosti, najít dopravní cestu složenou s dopravních hran včetně základních parametrů.

Aby bylo možné tuto databázi využívat skutečně reálně, je nutné zohlednit místa, resp. železniční stanice či vlečky, které jsou relevantní pro železniční nákladní dopravu, a lze na těchto místech skutečně realizovat železniční překládku. V tomto ohledu jsou dvě možnosti řešení, buďto vybudovat zcela novou železniční vlečku, která bude sloužit pro manipulaci s odpadem, nebo využít existující vlečku či manipulační místo. V obou případech je nutné počítat s náklady na realizaci překládky – lze chápat jako fixní náklad. Překládací místa budou prioritně sloužit k manipulaci v oblasti intermodální dopravy. Vzhledem k tomu, že infrastrukturu odpadového hospodářství na území ČR není aktuálně vybudována s železničními koncovkami, je nutné veškerou dopravní úlohu řešit z pohledu intermodální dopravy.

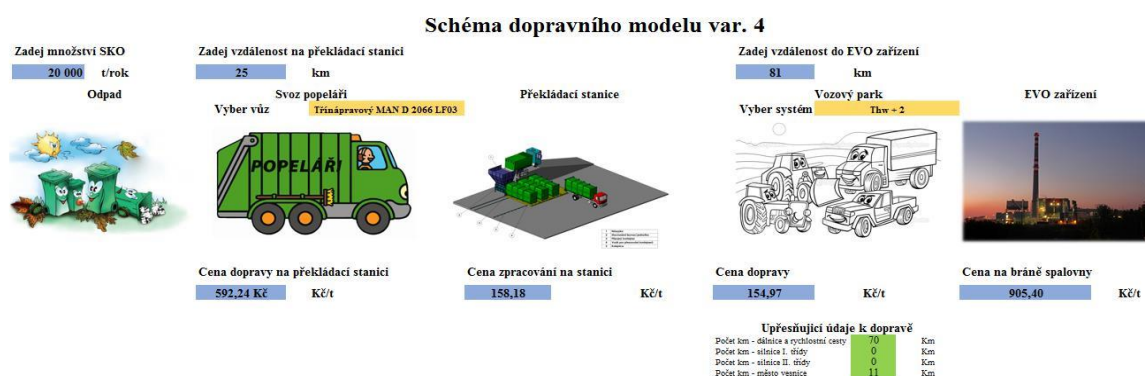
6 Aplikace a využití TE modelů

V následující kapitole budou představeny tři případové studie, na základě kterých bude demonstrováno reálné využití TE modelu v praxi. Bude se jednat o následující případové studie:

- Případová studie č. 1: **Vyhodnocení komplexního dopravního řetězce.**
- Případová studie č. 2: **Citlivostní analýzy a dopad na skladbu vozového parku z pohledu emisní třídy.**
- Případová studie č. 3: **Vyhodnocení komplexních řetězců s využití prognózovacího nástroje JUSTINE.**

6.1 Případová studie č. 1: Vyhodnocení komplexního dopravního řetězce

Vzhledem k relevantnímu stanovení ceny za dopravu bylo vytvořeno v TE modelu uživatelské okno, které demonstruje jeden vybraný řetězec celkové zpracování (obr. 66). V tomto okně, lze libovolně měnit roční kapacitu a volit nájezdové počty kilometrů tak, aby tyto základní charakteristiky demonstrovaly konkrétní příklad. Předpokládá se korektní zadání všech nutných vstupů, do jednotlivých TE modelů týkající se KUKA vozů, překládací stanice a potřebného vozového parku.



Obr. 66: Modelové okno systému pro konkrétní variantu

Výstupem je cena za dopravu od producenta do zařízení EVO, která je dosažena pro vybraný dopravní řetězec.

Pro prezentaci výstupů celkových řetězců byly vytipovány následující lokality – Olomouc, Přerov, Jihlava, Znojmo, Ostrava, anonymizované Město X a z těchto uvedených měst bylo provedeno ekonomické vyhodnocení do koncového zařízení EVO v Brně – základní vstupní parametry lze nalézt v tab. 9. Taktéž v každém městě byla modelově vystavěna překládací stanice. Analogicky, lze model využít na libovolnou lokalitu resp. dopravní trasu, která bude popsána základními logistickými charakteristikami.

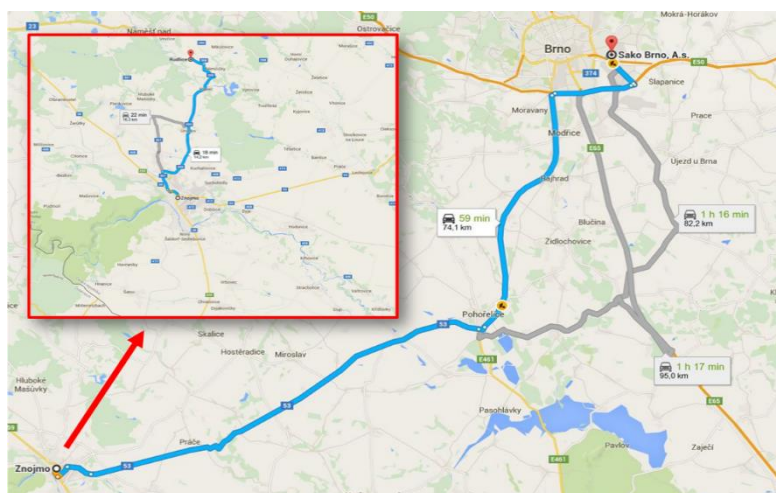
Tab. 9: Základní charakteristiky svozových tras

Město	Vzdálenost od zařízení EVO [km]	Kapacita překládací linky [kt/r]	KUKA vozy – nájezdová vzdálenost [km]	Rychlostní průměry KUKA vozů [km/h]	Koeficient mýto – jízdní souprava [-]
Znojmo	77	20	14	15	0,5
Olomouc	76	30	22	10	0,9
Přerov	84	25	11	10	1
Ostrava	166	100	30	15	0,9
Jihlava	104	30	17	8	0,9
Město X	50	60	8	20	0,7

Kilometrové nájezdy byly zvoleny na základě mapových podkladů. V oblasti podkladových map a silničních sítí pracoviště autora dlouhodobě spolupracuje s Centrem Dopravního Výzkumu, v. v. I.. V rámci této spolupráce byly vytipovány tři kategorie vozidel (ze strany VUT), které teoreticky zastupují všechny svozové i odvozové systémy, jedná se o popelářské vozy, jízdní soupravy a jiné odvozové systémy. Kategorie byly vytvořeny z důvodu potenciálního omezení na dopravních cestách – může se jednat o hmotnosti či rozměrové omezení (podjezdy nebo přejezdy mostů).

Pro prezentaci výstupů byla vytipována větší města s akceptovatelnou dojezdovou vzdáleností do zařízení SAKO Brno. Následně byly odhadnuty kilometrové nájezdy svozové části, rychlostní průměry KUKA vozů. Dále bylo nutné posoudit mýtný systém a následovalo zadání všech základních vstupních parametrů do TE modelů. Výstupy byly zpracovány tak, aby byla zjištěna cena na bráně celkového řetězce v přepočtu na 1 t. obr. 67 prezentuje mapový podklad jedné dopravní trasy:

- Svozová část – obsluha venkovské zástavby s příjezdem na potenciální překládací stanici do Znojma.
- Odvozová část – doprava z překládací stanice do zařízení SAKO Brno.



Obr. 67: Tvorba základních charakteristik z mapových podkladů

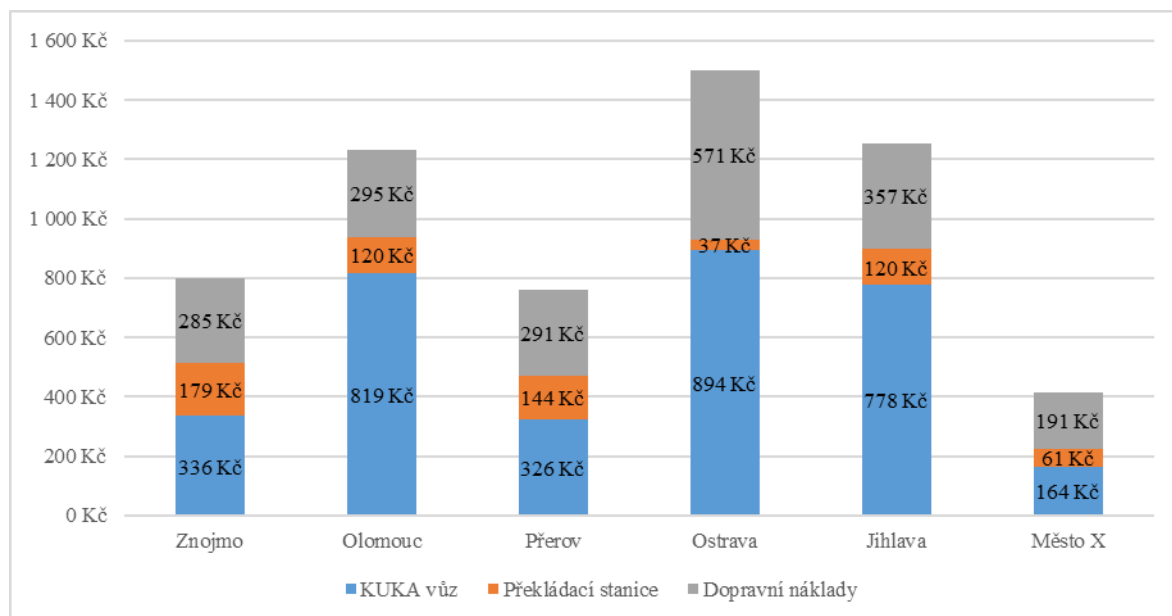
Výsledné ceny vytipovaných scénářů celkového transportního řetězce lze vidět v tab. 10. Výpočet byl proveden na základě třech TE modelů. Do každého modelu byla vložena zvolená vstupní data z tab. 9 a proveden výpočet konkrétního scénáře. Vyčísleny byly systémy jak s lisovaným, tak nelisovaným odpadem.

Tab. 10: Vyčíslení ročních nákladů jednotlivých prvků řetězce

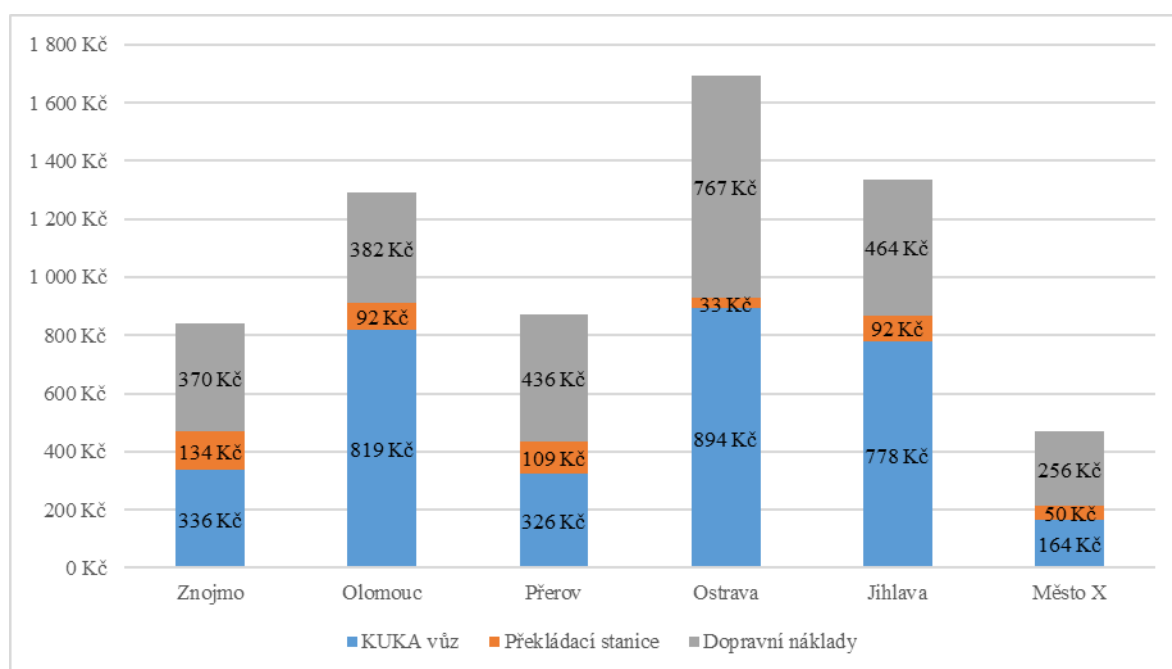
Vyčíslení základních nákladů pro simulaci - Znojmo							
KUKA vůz		Jízdní souprava - Lis			Jízdní souprava - NELis		
Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení
6 711 999 Kč	2	5 692 716 Kč	2	3 586 754 Kč	7 396 510 Kč	2	2 673 471 Kč
Vyčíslení základních nákladů pro simulaci - Olomouc							
KUKA vůz		Jízdní souprava - Lis			Jízdní souprava - NELis		
Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení
24 561 337 Kč	13	8 846 776 Kč	3	3 605 175 Kč	11 454 572 Kč	3	2 757 441 Kč
Vyčíslení základních nákladů pro simulaci - Přerov							
KUKA vůz		Jízdní souprava - Lis			Jízdní souprava - NELis		
Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení
8 144 983 Kč	4	7 277 348 Kč	2	3 595 965 Kč	10 908 015 Kč	3	2 715 456 Kč
Vyčíslení základních nákladů pro simulaci - Ostrava							
KUKA vůz		Jízdní souprava - Lis			Jízdní souprava - NELis		
Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení
89 390 452 Kč	44	57 084 434 Kč	16	3 734 126 Kč	76 712 523 Kč	19	3 345 230 Kč
Vyčíslení základních nákladů pro simulaci - Jihlava							
KUKA vůz		Jízdní souprava - Lis			Jízdní souprava - NELis		
Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení
23 334 954 Kč	13	10 721 198 Kč	3	3 605 175 Kč	13 927 897 Kč	3	2 757 441 Kč
Vyčíslení základních nákladů pro simulaci - Město X							
KUKA vůz		Jízdní souprava - Lis			Jízdní souprava - NELis		
Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení	Roční náklady	Počet vozů	Roční náklady na přeložení
9 820 865 Kč	4	11 460 643 Kč	4	3 660 440 Kč	15 348 985 Kč	4	3 009 351 Kč

Z obr. 68 je patrné, že nejvyšší nájezdový počet kilometrů je z města Ostrava – jedná se o cyklus 332 km a je tedy logické, že z pohledu ceny bude doprava nejnáročnější jak časově, tak ekonomicky. V tomto scénáři se výhodně ukazuje překládací stanice, která má velmi nízké náklady v přepočtu na 1t v závislosti na velké roční kapacitě, která činila 100 kt.

Ve všech demonstrováných scénářích byl pro úlohu svozu uvažován třinápravový vůz SCANIA P 320 DB6x2, který provozně velmi ekonomický a úvahy o sběru byly simulovány s vyšší průměrnou rychlostí, což se příznivě projevilo na celkovém ekonomickém vyhodnocení.



Obr. 68: Vyčíslené cenové odhady 1 t odpadu, vybraných scénářů pro řetězec s překládací stanicí s lisovacím systémem



Obr. 69: Vyčíslené cenové odhady 1 t odpadu, vybraných scénářů pro řetězec s překládací stanicí bez lisovacího systému

Z výsledných porovnání vychází ve všech vytipovaných scénářích lépe systém s lisovací technologií, což je především z důvodu vyššího nájezdového počtu kilometrů (více jak 100 km/cyklus). V obou scénářích byl jednotně zvolen KUKA vůz (stejně svozové náklady),

rozdílnost a výhodnost je poté posuzována pouze v oblasti provozních nákladů překládací stanice a jízdní soupravy. Překládací stanice je v případě lisovaného odpadu dražší, ale odvozové jízdní soupravy zase levnější v přepočtu na zpracovanou tunu.

6.2 Případová studie č. 2: Citlivostní analýzy a dopad na skladbu vozového parku

Případová studie č. 2 poukazuje na řešení ekonomického vyhodnocení překládací stanice s dopadem na dopravní úlohu. Technické služby Olomouc disponují technickým areál pro manipulaci s odpady. Tento areál vzájemně propojuje překládací stanici, třídící linku a pomaloběžný drtič. Předmětem studie bylo vyhodnocení provozních nákladů překládací stanice. Překládací stanice byla hodnocena na základě dvou typů kvality lisování:

- **Standardní lisování** (cca 9,6 t odpadu v kontejneru): vyhodnocení probíhalo na základě půl roční analýzy toku dopadu z Olomouce do zařízení EVO.
- Modelové, resp. **efektivní lisování** (cca 12,2 t odpadu v kontejneru).

Požadavek na případovou studii bylo zohlednění pouze provozních nákladů bez zohlednění vstupní investice, jednalo se o energetickou spotřebu, provozní a mzdové náklady. Současně byla hodnocena i ekonomika dopravní úloha na základě dopadu lisování (standardní a efektivní) na překládací stanici.

6.2.1 Nastavení modelu překládací stanice

- Roční zpracovatelská kapacita – 27,6 kt.
- Energetická náročnost technologických prvků:
 - Příkon lisovacího zařízení – 32 kWh (4,62 m³, 80% dávkování).
 - Pásový dopravník – 11 kWh (25 t/hod, 85% dávkování).
 - Systém pro výměnu kontejnerů – 10 kWh.
- Spotřeba oleje – 300 l/rok.
- Fond pracovní doby – 250 dní/50 týdnů
- Životnost zařízení 12 let.
- Počet zaměstnanců: 2 (31 000 Kč – zohlednění superhrubé mzdy)
- Meziroční nárůst cen – 2% pro energie a 3,5% pro mzdy.

6.2.1.1 SCÉNÁŘ Č. 1 – STANDARDNÍ LISOVÁNÍ

Na základě výše uvedeného nastavení TE modelu byly vyčísleny následující parametry:

- Hmotnost odpadu: 320 kg/m³ – tedy 9,6 t/kontejner
- Počet cyklů beranu: 25
- Vytíženost lisu: 3,03 hod/den
- Nalisování kontejneru: 15,83 min
- Počet kontejnerů na skladě za den – 12 ks (minimum)
- Vytížení lisu: 36,38 t/hod

Současně byly vyčísleny provozní náklady na překládací stanici během prvního roku provozu tab. 11.

Tab. 11: Vyčíslení provozních nákladů během prvního roku provozu překládací stanice, standardní lisování

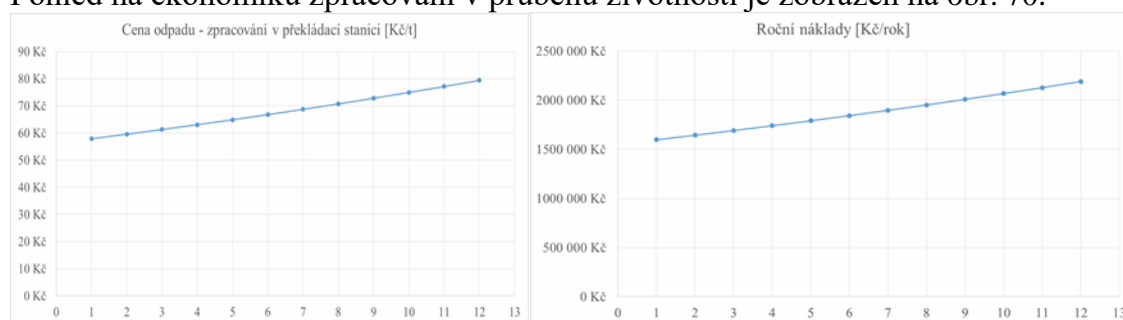
Spotřeba elektřiny - Lisovací systém	[Kč/rok]	172 975 Kč
Spotřeba elektřiny - ostatní	[Kč/rok]	100 000 Kč
Náklady na zaměstnance	[Kč/rok]	744 000 Kč
Provozní režie - překládací stanice	[Kč/rok]	100 000 Kč
Správní režie - překládací stanice	[Kč/rok]	100 000 Kč
Neočekávané výdaje	[Kč/rok]	150 000 Kč
Reinvestice - oplocení	[Kč/rok]	0 Kč
Reinvestice - stavební činnost	[Kč/rok]	0 Kč
Reinvestice - technologie	[Kč/rok]	150 000 Kč
Reinvestice kontejnery	[Kč/rok]	81 000 Kč
Manipulační technika	[Kč/rok]	0 Kč
Celkové roční provozní náklady	[Kč/rok]	1 597 975 Kč
Cashflow - výdaje	[Kč/rok]	1 597 975 Kč
Roční náklady	[Kč/rok]	1 597 975 Kč
Cena odpadu - zpracování v překládací stanici	[Kč/t]	58 Kč

Výsledné vyhodnocení provozu se zohledněním teoretického zisku je vyčísleno v tab. 12.

Tab. 12: Celkové vyhodnocení překládací stanice, standardní lisování

Zohlednit vstupní investici	[-]	NE
Investice do stanice - spuštění	[Kč]	0
Celkové provozní náklady po dobu životnosti	[Kč]	22 555 429
Celková investice po dobu 12 let	[Kč]	22 555 429
Inflace	[-]	2,00%
Inflace mzdy	[-]	3,50%
Množství odpadu za rok	[t]	27 600
Životnost zařízení	[let]	12
Průměrná cena odpadu zpracování za životnost	[Kč/t]	68
Procentuální zisku na 1 t	[%]	50,00%
Náklady se ziskem na 1 t	[Kč/t]	102,15 Kč
Roční průměrný potenciální zisk	[Kč/rok]	939 810 Kč
Teoretický zisk za životnost překládací stanice	[Kč]	11 277 714 Kč

Pohled na ekonomiku zpracování v průběhu životnosti je zobrazen na obr. 70.



Obr. 70: Ekonomika zpracování odpadu na překládací stanici

6.2.1.2 SCÉNÁŘ Č. 2 – EFEKTIVNÍ LISOVÁNÍ

- Hmotnost odpadu: 407 kg/m³ – tedy 12,21 t/kontejner.
- Počet cyklů beranu: 33.
- Vytíženost lisu: 3,14 hod/den.
- Nalisování kontejneru: 20,9 min.
- Počet kontejnerů na skladě za den – 9 ks (minimum).
- Vytížení lisu: 36,62 t/hod.

Tab. 13: Celkové vyhodnocení překládací stanice, efektivní lisování

Zohlednit vstupní investici	[-]	NE
Investice do stanice - spuštění	[Kč]	0
Celkové provozní náklady po dobu životnosti	[Kč]	22 419 253
Celková investice po dobu 12 let	[Kč]	22 419 253
Inflace	[-]	2,00%
Inflace mzdy	[-]	3,50%
Množství odpadu za rok	[t]	27 600
Životnost zařízení	[let]	12
Průměrná cena odpadu zpracování za životnost	[Kč/t]	68
Procentuální zisku na 1 t	[%]	50,00%
Kalkulace zisku na 1 t	[Kč/t]	102,01 Kč
Roční průměrný potenciální zisk	[Kč/rok]	934 136 Kč
Teoretický zisk za životnost překládací stanice	[Kč]	11 209 626 Kč

6.2.2 Dopravní úloha

Zvolena byla jízdní souprava s maximální váhou platnou pro legislativu v ČR, tj. 48t a požadavek byl vyhodnotit různé emisní třídy s dopadem na koncovou cenu. Současně

doporučení bylo využívat nejnovější emisní třídu s ekonomicky přijatelným nákupem, tj. EURO 6

6.2.2.1 NASTAVENÍ MODELU

- Počet pracovních týdnů: 50.
- Délka směny: 8 hod.
- Vzdálenost 87,3 km, tj. 174,6 km celková analyzovaná dopravní cesta.
- Mýtný systém: 76 %, tj. 66,4 km.
- Zdržení na trase 5 % Nakládka: 15 min.
- Vykládka: 30 min.

Na základě analýzy z překládací stanice budou hodnoceny dvě hlavní dopravní úlohy se standardním lisováním (320 kg/m^3) a efektivním lisováním (407 kg/m^3) pro překládací stanici. V prvním kroku bylo nutné analyzovat aktuální ceny mýtných systémů a zohlednění mýtný systém na vybrané dopravní cestě (Olomouc – Brno – Olomouc).

6.2.2.2 POHLED NA MÝTNÝ SYSTÉM

Poplatky za mýtný systém na základě emisní třídy a počtu náprav pro ČR, ceník platný od 1. 1. 2015 - tab. 14.

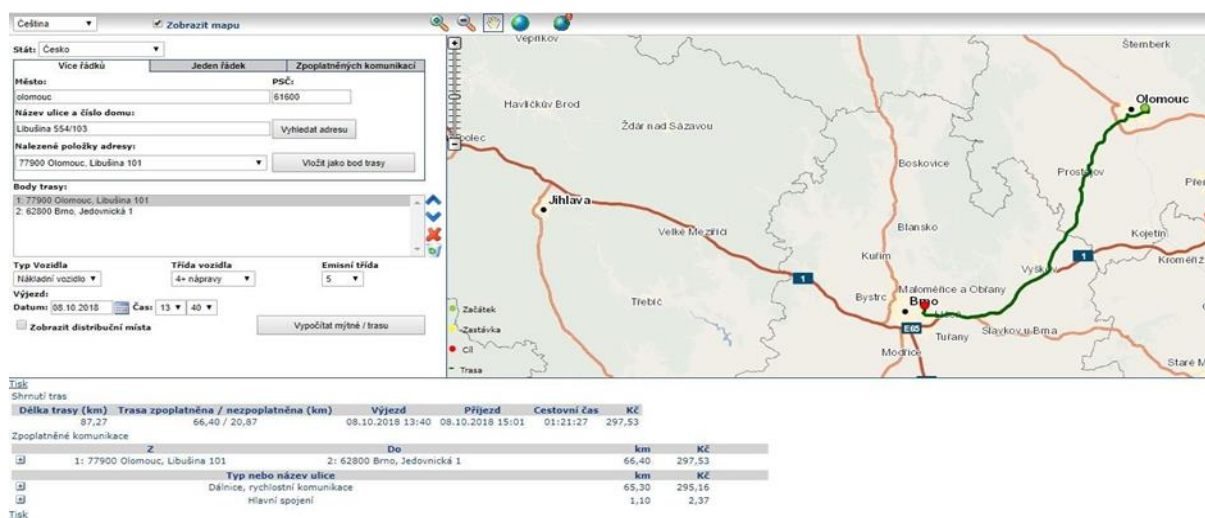
Tab. 14: Tabulka mýtného systému pro ČR [49]

emisní třída	EURO 0–II			EURO III–IV			EURO V			tarif Euro6 EURO VI, EEV		
	2	3	4+	2	3	4+	2	3	4+	2	3	4+
počet náprav												
dálnice a rychlostní silnice	3,34	5,7	8,24	2,82	4,81	6,97	1,83	3,13	4,52	1,67	2,85	4,12
<i>Sazba - pátek 15-20 h</i>	<i>4,24</i>	<i>8,1</i>	<i>11,76</i>	<i>3,58</i>	<i>6,87</i>	<i>9,94</i>	<i>2,33</i>	<i>4,46</i>	<i>6,46</i>	<i>2,12</i>	<i>4,05</i>	<i>5,88</i>
silnice I. třídy	1,58	2,74	3,92	1,33	2,31	3,31	0,87	1,5	2,15	0,79	1,37	1,96
<i>Sazba - pátek 15-20 h</i>	<i>2,00</i>	<i>3,92</i>	<i>5,6</i>	<i>1,69</i>	<i>3,31</i>	<i>4,74</i>	<i>1,1</i>	<i>2,15</i>	<i>3,07</i>	<i>1</i>	<i>1,96</i>	<i>2,8</i>

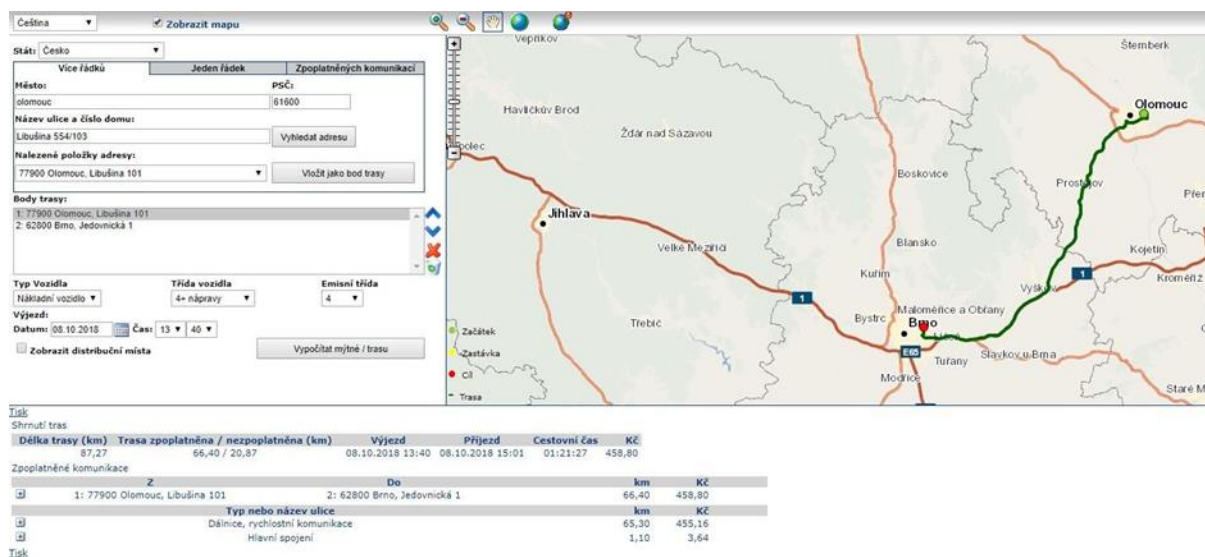
Pro ukázkou byl využit i mýtný kalkulátor, kde na základě parametru vozidla (počet náprav a emisní třída) byla vytvořena kalkulace pro dopravní cestu. Důvodem využití mýtného kalkulátoru bylo stanovení délky dopravní cesty a výpočet mýtného na základě jejich mapových podkladů. V rámci řešení, z několika projektů, bylo zjištěno, že údaje z různých mapových podkladů (ArcGIS PRO, OpenStreet Maps, Google Maps, interní databáze, mýtné kalkulačky) se od sebe liší. Proběhlo vyčíslení pro Emisní třídy IV – VI (obr. 71 - obr. 73).



Obr. 71: Vyčíslení mýtného systému pro Emisní třídu VI.²⁷



Obr. 72: Vyčíslení mýtného systému pro Emisní třídu V.



Obr. 73: Vyčíslení mýtného systému pro Emisní třídu IV.

Scénář č. 1: Jednotný vozový park pro 27,6 kt/rok

Vyhodnocení: výstupem z TE modelu bylo doporučeno zvolit vozový park o velikosti 3 jízdních souprav a na základě denního využití se jedná o 5 – 6 denních jízd automobilů na trase Olomouc – Brno – Olomouc. Tento výstup z TE modelu odvozu byl potvrzen i ze strany Technických služeb města Olomouce.

Bylo provedeno vyčíslení dopravních nákladů z pohledu celkové investice (zohlednění provozních nákladů i odpisů).

Standardní lisování 320 kg/m³

- EURO 6: Vozový park za rok 9 168 398 Kč, náklady na tunu **332 Kč/t** (MS: 4,12 Kč/km).
- EURO 5: Vozový park za rok 9 244 725 Kč, náklady na tunu **334 Kč/t** (MS: 4,52 Kč/km).
- EURO 4: Vozový park za rok 9 712 226 Kč, náklady na tunu **351 Kč/t** (MS: 6,97 Kč/km).

Efektivní lisování 407 kg/m³

- EURO 6: Vozový park za rok 7 788 748 Kč, náklady na tunu **282 Kč/t** (MS: 4,12 Kč/km).
- EURO 5: Vozový park za rok 7 848 779 Kč, náklady na tunu **284 Kč/t** (MS: 4,52 Kč/km).
- EURO 4: Vozový park za rok 8 316 343 Kč, náklady na tunu **301 Kč/t** (MS: 6,97 Kč/km).

Scénář č. 2: využití tří různých automobilů s různou emisní třídou (nastavení modelu na 9,2 kt/rok, výpočet byl realizován pro každou emisní třídu zvlášť), kalkulace (STK, pojištění, pneumatiky, servis, opravy a nepředpokládané výdaje, PHM, olej, mýtný systém)
Nejsou zahrnuty mzdy, nákup vozidla, amortizace, správní a provozní režie. Cyklus je navržen 2x automobil za den

- EURO 6: Vozový park za rok 1 244 874 Kč, náklady na tunu **135 Kč/t** (4,12 Kč/km) – 40,8 l.
- EURO 5: Vozový park za rok 1 442 166 Kč, náklady na tunu **156 Kč/t** (4,52 Kč/km) – 48,7 l.
- EURO 4: Vozový park za rok 1 613 457 Kč, náklady na tunu **175 Kč/t** (6,97 Kč/km) – 51,8 l.

Náklady na cestu na základě poplatku mýta, dle mýtné kalkulačky¹

- EURO 6: **271,2 Kč** (obr. 71).
- EURO 5: **297,5 Kč** (obr. 72).
- EURO 4: **458,8 Kč** (obr. 73).

Výstupem z TE modelu bylo stanovení počet nutných jízd na automobil při zvoleném scénáři, tj. cca 377. Vyčíslení ročních rozdílů nákladů pouze z pohledu mýtného systému.

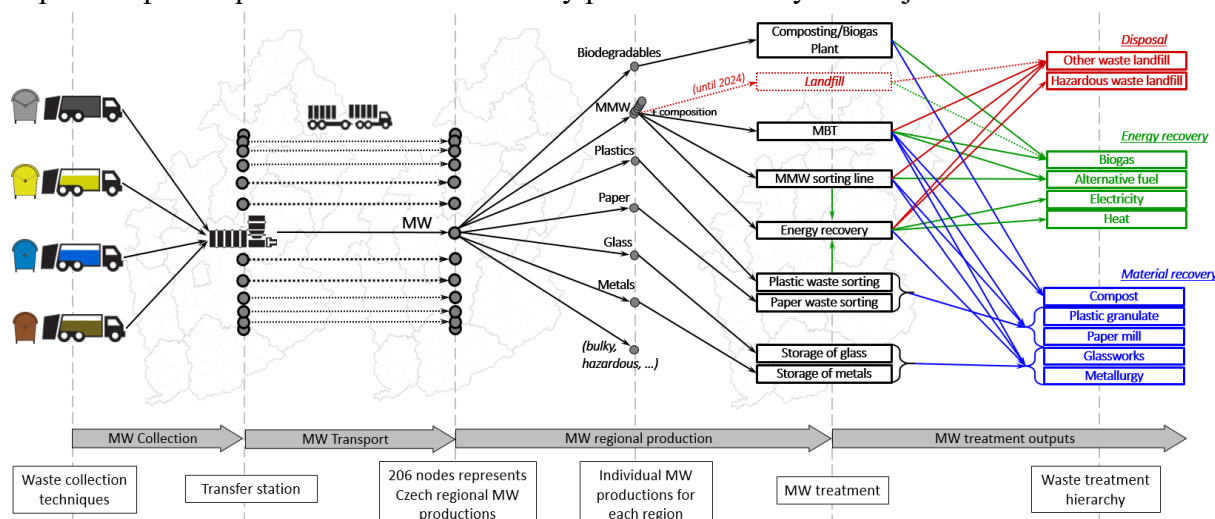
- EURO 4 – EURO 5: úspora cca **121 597 Kč**.
- EURO 4 – EURO 6: úspora cca **141 450 Kč**.
- EURO 5 – EURO 6: úspora cca **19 852 Kč**.

6.2.2.3 VYHODNOCENÍ PŘÍPADOVÉ STUDIE

- Efektivita lisování je zanedbatelný parametr v kontextu ekonomického vyhodnocení překládací stanice.
- Překládací stanice je využita cca na 50 % svých možností.
- Klíčovou problematikou je dopravní úloha a přeprava odpadu scénář č. 1 (2x 9,6 t) a scénář č. 2 (2x 12,2 t). V případě scénáře č. 2 – značné úspory a snížení počtu cyklů i snížení vytížení vozového parku.
- Efektivita lisování se může negativně projevovat na opotřebení lisu (možnost zohlednění amortizace lisu)
- Emisní třída – EURO 4, možné úspory nákladů při využití EURO 6 až o 150 000 Kč/ročně pouze na mýtném systému, současně úspora PHM (Nafta, olej, jiné provozní média) až 5 Kč na km, nehledě na nutné opravy starších vozidel. Úspora na provozu může být až 350 000 Kč ročně při srovnání EURO IV a EURO VI.
- Při nákupu nových moderních vozidel (EURO VI) je odhad ročního odpisového hledisko cca 500 000 Kč.

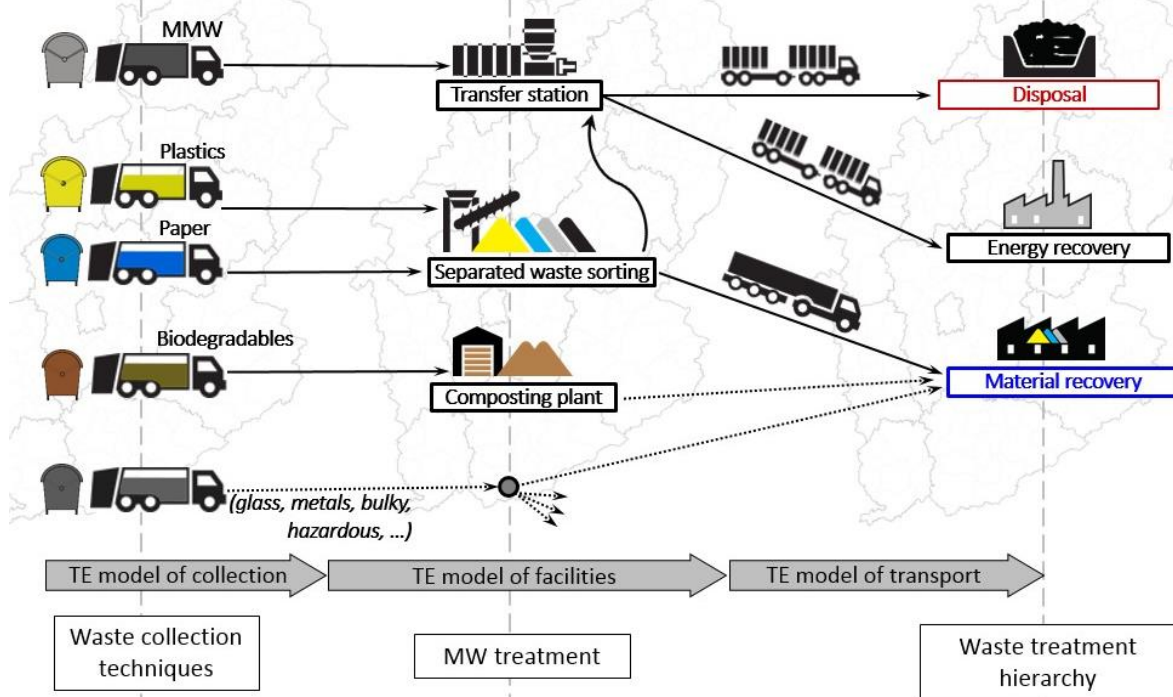
6.3 Případová studie č. 3: Vyhodnocení komplexních řetězců v odpadovém hospodářství s využitím prognostovacího nástroje JUSTINE

Autorem disertační práce a kolegou Ing. Jiřím Kropáčem, Ph.D. byl vyvinut komplexní nástroj, který propojuje vyvinuté TE modely, které jsou popsány v předkládané disertační práci. Nástroj dokáže pracovat na libovolné úrovni detailu, tj. od jednoho města až po nadnárodní úroveň např. transport odpadů v rámci EU. Celkový pohled na tokový model je zobrazen na obr. 74.



Obr. 74: Celková struktura tokového modelu

Model včetně metodiky je otevřený nástroj a lze jej dle zadání modifikovat do různé hladiny detailu. Pro potřeby případové studie byl model zjednodušen do následující podoby – obr. 75.



Obr. 75: Schéma tokového modelu pro případovou studii

Za pomoci tokového modelu bude přestavena případová studie pro 100 000 město v České republice, zhodnocen aktuální a budoucí stav:

- Scénář č. 1 (2017) – vyhodnocení na základě produkcí odpadu vykázaných v roce 2017
- Scénář č. 2 (2024) – vyhodnocení na základě vytvořené prognózy nástroje JUSTINE

Komunální odpady jsou sváženy do centrálního střediska pro nakládání s odpady. Součástí areálu je překládací stanice, dotřídňovací linka pro papír a plast a kompostárna pro Bio odpad. Stanovené produkce komunálních odpadů pro **scénář č. 1 (2017)** jsou následující:

- 1,4 kt/r separovaně sbíraného plastu, plast je dotříděn na dotřídňovací lince a výmět je zpracován na překládací stanici a přepravován do zařízení EVO (společně s SKO a papírem).
- 1,7 kt/r separovaně sbíraného papíru, který je dotříděn na dotřídňovací lince, výmět je zpracován na překládací stanici (společně s SKO a plastem).
- 1,9 kt/r separovaně sbírané sklo je sváženo přímo do recyklačního závodu (sklárný) na další využití.
- 1,8 kt/r separovaně sbíraný kov je sváženo přímo do recyklačního závodu (hutě) na další využití.
- 28 kt/r SKO. Odpad je zpracován na překládací stanici a přepravován do zařízení EVO (společně se zbytkovým plastem a papírem).
- 4,3 kt/r biologicky rozložitelného odpadu. Odpad je zpracován na kompostárně a výstupním produktem je kompost.

Vytvoření **scénáře č. 2** bylo provedeno na základě prognózovacího nástroje *JUSTINE* se zohledněním historického trendu. Bylo zjištěno, že dochází k nárůstu všech složek separovaně sbíraného odpadu. Scénář č. 2, pro rok **2024** byl hodnocen na základě následujících produkcí:

- 2,8 kt/r separovaně sbíraného plastu, plast je dotříděn na dotřídňovací lince a výmět je zpracován na překládací stanici a přepravován do zařízení EVO (společně s SKO a papírem).
- 6,3 kt/r separovaně sbíraného papíru, který je dotříděn na dotřídňovací lince, výmět je zpracován na překládací stanici (společně s SKO a plastem).
- 2 kt/r separovaně sbírané sklo je sváženo přímo do recyklačního závodu (sklárný) na další využití.
- 3,9 kt/r separovaně sbíraný kov je sváženo přímo do recyklačního závodu (hutě) na další využití.
- 29,2 kt/r SKO. Odpad je zpracován na překládací stanici a přepravován do zařízení EVO (společně se zbytkovým plastem a papírem).
- 5,3 kt/r biologicky rozložitelného odpadu. Odpad je zpracován na kompostárně a výstupním produktem je kompost.

Ekonomické výstupy jsou prezentovány v jednotce Kč/t a z pohledu ročních nákladů. Náklady jsou vyčíslovány jako komplexní náklady na vybrané zařízení, tj. včetně pořízovacích nákladů, které se zohledňují ve formě odpisů po dobu životnosti. Výstupem bude ekonomické srovnání uvedených scénářů (č. 1 a č. 2) pro rok 2017 a rok 2024 a vyhodnocena rozdílnost produkcí odpadu. Veškeré prezentované výstupy jsou vyhodnocovány bez zisku a nezahrnují výkup

výstupního produktu, tj. prodej kompostu, prodej druhotné suroviny (papír, plast, sklo, kov) nebo logistiky.

6.3.1 Dopravní úloha

Svoz byl hodnocen na základě TE modelu pro svoz, kdy se jedná o obsluhu několika desítek kontejnerů (pro výpočet byly vybrány nádoby o objemu 1100 l) a na základě průměrné rychlosti a zdržení při manipulaci s nádobami byly odhadnuty náklady na svoz. Z výsledného ekonomického hodnocení Scénáře č. 1 (rok 2017) je patrné, že plastový odpad má jednoznačně nejnákladnější svoz – 3 692 Kč/t naopak nejlevnější svoz je v případě SKO s náklady 1 086 Kč/t. V případě plastu se jedná o svoz velmi lehkého materiálu, kdy je očekávájící, že KUKA vozy odvezou přibližně 3 t plastového odpadu, v případě SKO se jedná více, jak 10 t. Pro svozovou úlohu byl vybrán třínápravový KUKA vůz. Celkové výsledky pro rok 2017 jsou patrné v tab. 15

Tab. 15: Náklady na svoz pro scénář č. 1 (2017)

Komodita	Množství odpadu	Počet svozových vozů	Roční náklady	Náklady na tunu
-	[kt/r]	[-]	[Kč]	[Kč/t]
Plast	1,4	2	4 800 630	3 692
Papír	1,7	2	4 451 828	2 681
Sklo	1,9	1	2 470 074	1 300
Kov	1,8	1	2 239 866	1 240
SKO	28	12	30 415 224	1 086
BIO	4,5	3	7 410 000	1 700
Celkem	39,1	21	51 787 622	-

Přeprava do zařízení EVO je kalkulována na základě ročního zpracovatelského množství. Je stanoven vozový park a počet cyklů jízdních souprav za rok. TE model pro dopravu zohledňuje pracovní dobu, dopravní vzdálenost, zákazu jízdy kamionů a další. Vyčísleny jsou kompletní náklady na vozový park (provozní i odpisové složky) v jednotce Kč/t a roční náklady. Množství odpadu je v tab. 16 navýšeno o 0,5 kt, tato hodnota odpovídá množství výmetu z dotřídovací linky. Výmětem se rozumí plastové a papírové frakce, které nemají další uplatnění na trhu s kladnou cenou. Dopravní náklady jsou vyčísleny na 245 Kč/t.

Tab. 16: Dopravní náklady (odvoz) do zařízení EVO, scénář č. 1, (2017)

	Množství odpadu	Počet vozů	Roční náklady	Náklady na tunu
-	[kt/r]	[-]	[Kč]	[Kč/t]
Doprava	28,5	3	6 988 466	245

Scénář č. 2 (2024) je připraven za pomoci nástroje *JUSTINE*, kde dochází k odhadu množství odpadů na základě historického trendu. Prognózované produkce byly analyzovány v TE modelech pro svoz a byl zjištěn ekonomický pokles nákladů na převoz jedné tuny. Tento pokles

koresponduje s faktem, že je očekáván nárůst produkce především u separovaně sbíraných složek odpadu (plast, papír, sklo, kov), minimální nárůst je očekáván i v případě SKO. Nákladnější svoz je očekáván v případě Bio odpad, kdy je nutno rozšířit vozový park a nově přidané vozidlo lze považovat za pomocné vozidlo, které není využíváno na plno. Vyhodnocení svozových nákladů je zobrazeno v tab. 17.

Tab. 17: Náklady na svoz pro scénář č. 2 (2024)

Komodita	Množství odpadu	Počet svozových vozů	Roční náklady	Náklady na tunu
-	[kt/r]	[-]	[Kč]	[Kč/t]
Plast	2,8	4	9 814 024	3 505
Papír	6,3	5	12 409 666	1 969
Sklo	2	1	2 508 000	1 254
Kov	3,9	2	4 570 420	1 171
SKO	29,2	12	30 851 224	1 056
BIO	5,3	4	9 643 112	1 820
Celkem	49,5	28	69 796 446	-

V případě odvozu odpadu z překládací stanice do zařízení EVO, je očekávající zpracovávat i výmět z dotřídovací stanice, z tohoto důvodu je předpoklad nárůstu SKO přibližně o 1,1 kt/rok. Cena za dopravu je snížena přibližně o 4 %. Byl navržen stejný vozový park jako v případě scénáře 1, pouze bylo stanoveno více cyklů, tj. vyšší využitelnost vozového parku. Toto vyšší využití má přízniví dopad na cenu za jednu tunu převezeného odpadu, která je přibližně 237 Kč/t - tab. 18.

Tab. 18: Dopravní náklady (odvoz) do zařízení EVO, scénář č. 2 (2024)

	Množství odpadu	Počet vozů	Roční náklady	Náklady na tunu
-	[kt/r]	[-]	[Kč]	[Kč/t]
Doprava	30,3	3	7 240 500	237

6.3.2 Překládací stanice

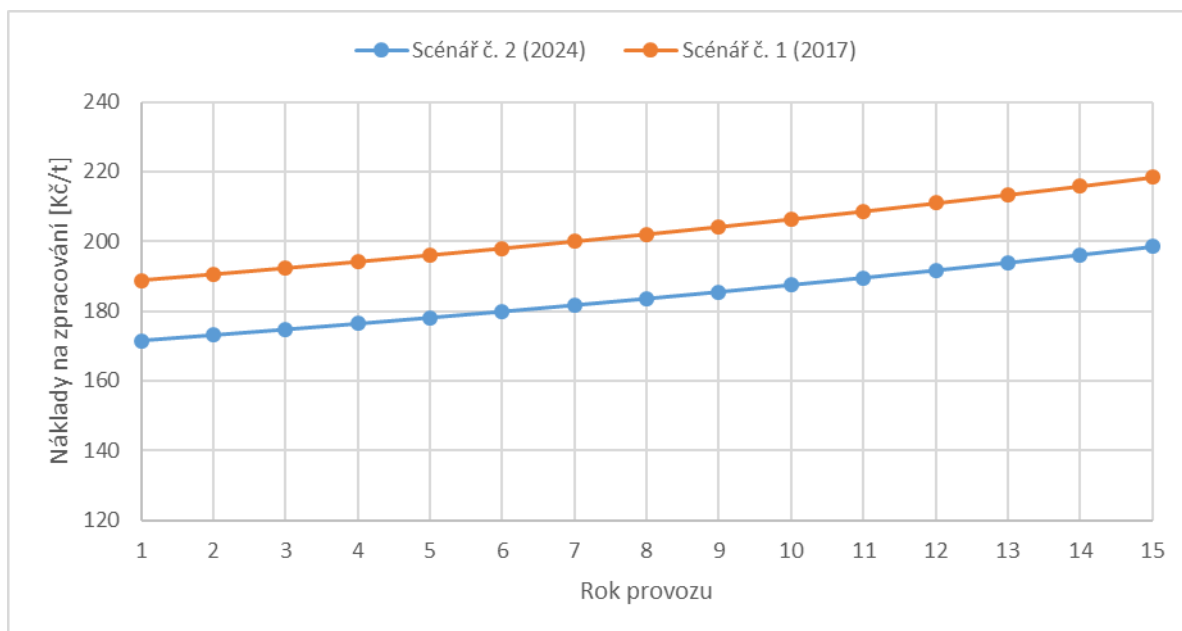
TE model překládací stanice byl vyhodnocen pro dva vybrané scénáře:

- Scénář č. 1 (2018): 28,5 kt/rok.
- Scénář č. 2 (2024): 30,3 kt/rok.

Výsledkem je rozdílnost provozních nákladů – pokles nákladů pro rok 2024 v důsledku vyšší zpracovatelské kapacity, zobrazeno na obr. 76. Vzhledem k tomu, že pro rok 2024 kapacita nepřevyšuje 5 %, je ponechán identický areál včetně dispozičního řešení. Lisování odpadu je uvažováno se synnou hmotností 407 kg/m³, tak aby byl max. využit objem kontejnerů a zároveň byla dodržena max. přípustná legislativní podmínka pro jízdní soupravu 48 t. Dále bylo analyzováno, že z pohledu provozních nákladů, je ekonomicky výhodnější zpracování většího množství odpadu. Z pohledu spotřeby elektřiny se jedná o rozdíl přibližně 19 741 Kč/rok (úspora v roce 2017 v porovnání s rokem 2024, z důvodu zpracování většího množství odpadu).

První rok provozu). Celkové vyhodnocení provozních nákladů včetně odpisů při přepočtu na jednu tunu v závislosti na životnosti zařízení (15 let) je zobrazeno na obr. 76. Růst nákladů je v důsledku zohlednění meziroční inflace, která byla nastavena následovně:

- Mzdy – 3,5 %.
- Provozní náklady a reinvestice – 2,5 %.



Obr. 76: Srovnání nákladů na zpracování odpadu na překládací stanici pro dva scénáře

Na základě provedených analýz zpracovaného množství odpadu (28,5 kt/rok) je odhadnuta cena za zpracování ve výši cca 189 Kč/t v rámci prvního roku provozu, poslední rok provozu jsou náklady na zpracování kalkulovány ve výši 218 Kč/t. Celkové náklady za životnost pak 83,5 mil Kč/t. V případě Scénáře č. 2 (30,3 kt/rok) jsou náklady na zpracování odhadnuty ve výši 171 Kč/t (prvního rok provozu) v případě posledního roku provozu se jedná o náklad 198 Kč/t. Celkové náklady za životnost zařízení 84,3 mil. Kč.

6.3.3 Kompostárna

Výpočet kompostárny byl realizován opět pro dva vytyčené scénáře. V případě kompostárny se jednalo o následující roční zpracované množství odpadu:

- Scénář č. 1 (2017): 4,3 kt/rok.
- Scénář č. 2 (2024): 5,3 kt/rok.

Pro oba scénáře byl vybrán identický pozemek, který je charakterizován max. zpracovatelskou kapacitou zařízení, která byla zvolena na 8 kt/rok. Na základě této kapacity byl zvolen pozemek o velikosti o velikosti 10 400 m² (121 x 86 m).

Pro scénář č. 1 byla zvolena následující surovinová skladba odpadu:

- Dřevo, větve (800 t/rok; 18,6 %).
- BRKO (1 400 t/rok; 32,6 %).

- Listí (200 t/rok; 4,7 %).
- Travní hmota z údržby veřejné zeleně (1 500 t/rok; 34,9 %).
- Travní hmota z neobhospodařovaných ploch (400 t/rok; 9,3 %).

Z pohledu zakládky kompostu byla vyhodnocena vlhkost zakládky 46,6 % (optimální vlhkost je 55 – 65 %) a poměr C:N – 46:1 (optimální poměr C:N je 30-35:1). Z navržené zakládky je patrné, že je nutné vlhčení již při zakládce a dodání hmoty bohaté na dusík, aby poměr C:N byl optimální. Uvažovaná hmotností ztráta je volena ve výši 33 %, tedy očekávaná roční produkce kompostu je 3 015 t. Náklady na zpracování, se zohledněním vstupní investice, odpisy a provozními náklady je kalkulována na částku 1 288 Kč/t.

V případě scénáře č. 2 byla zvolena následující surovinová skladba odpadu:

- Dřevo, větve (1 200 t/rok; 22,6 %).
- BRKO (1 800 t/rok; 34 %).
- Listí (300 t/rok; 5,7 %).
- Travní hmota z údržby veřejné zeleně (1 700 t/rok; 32,1 %).
- Travní hmota z neobhospodařovaných ploch (300 t/rok; 5,7 %).

Vlhkost zakládky je 47 % a poměr C:N – 48,2:1, tedy stejně jako v případě scénáře č. 1 je nutné dodání hmoty bohaté na dusík, aby aerobní proces probíhal bez komplikací. Současně TE model doporučil vlhčení již při zakládce kompostu. Očekávaná roční produkce kompostu je 3 710 t. Náklady na zpracování jsou odhadnuty na 1 081 Kč/t.

6.3.4 Dotříd'ovací linka

Model dotříd'ovací linka je dimenzován na nepřetržitý provoz, např. tří směnný provoz (pracovní doba – 8 hodin). Cílem využití TE modelu je jednak vyhodnotit provozní režim pro dva scénáře (rok 2018 a rok 2024) a současně poukázat na nákladovost dotříd'ování, zejména plastů. Model byl nastaven jako projekt na zelené louce, tedy byl zahrnut celkový nákup pozemků, technologického řešení a skladovacích prostor.

Množství odpadu pro vybrané scénáře je následující:

- Scénář č. 1 (2017): plast 1,4 kt/rok, papír 1,7 kt/rok.
- Scénář č. 2 (2024): plast 2,8 kt/rok, papír 6,3 kt/rok.

Vstupní investice je složena z následujících položek:

- Pozemek (18 423 500 Kč)
- Stavební práce + kompletní zázemí areálu (26 686 500 Kč)
- Technologie linky + stacionární balíkovací lis (15 590 000 Kč)

Celková vstupní investice je kalkulována na 60 700 000 Kč. Dotříd'ovací linka je manuální linka bez automatizových prvků jako např. NIR senzORIZACE a jiné. Princip je takový, že každou zájmovou frakci dotříd'uje jedna nebo více osob, dle nastavení modelu.

Pro potřeby tohoto článku byly klíčové následující frakce plastů:

- PET transparentní (11 %)
- PET zelený (7 %)
- PET modrý (9 %)
- PET mix (12 %)
- HDPE (18 %)
- LDPE (3 %)
- Výmět/nečistoty (40 %)

Frakce papíru:

- Časopisy (17 %)
- Noviny (14 %)
- Karton a lepenka (30 %)
- Papírový mix (24 %)
- TetraPack v papíru (10 %)
- Výmět/nečistoty (5 %)

TE model lze nastavit do libovolného množství dotříditelných a zájmových frakcí. Pokud bychom vyhodnocovali pouze jednu komoditu, tj. plast, výsledky pro vybrané scénáře budou vypadat následovně – tab. 19.

Tab. 19: Dotřídovací linka – vyhodnocení provozu pouze pro plast, Scénář 1 (2017) a scénář 2 (2024)

Ekonomika linky (plast)	Scénář č. 1 (2017)	Scénář č. 2 (2024)	Jednotka
Celkové množství plastů	1 400	2 800	<i>t/r</i>
Vytříděné množství plastu (kladná cena)	798	1 596	<i>t/r</i>
Pracovní doba	8	8,5	<i>hod/den</i>
Rychlost pásu	0,1		<i>m/s</i>
Roční provozní fond	1 079	2 158	<i>hod/r</i>
Vytíženost linky	52%	98%	<i>%</i>
Provozní náklady (elektřina)	898 268	1 796 535	<i>Kč/rok</i>
Provozní náklady (mzdy)	2 745 600	2 917 200	<i>Kč/rok</i>
Roční celkové náklady	8 785 226	9 855 094	<i>Kč/rok</i>
Náklady na tunu plastu	11 009	6 175	<i>Kč/t</i>
Provozní náklady na tunu plastu	4 812	2 514	<i>Kč/t</i>

Pokud bude hodnocen samostatně papír, výsledky budou vypadat následovně – tab. 20

Tab. 20: Dotříd'ovací linka – vyhodnocení provozu pouze pro papír, Scénář 1 (2017) a scénář 2 (2024)

Ekonomika linky (papír)	Scénář č. 1 (2017)	Scénář č. 2 (2024)	Jednotk a
Celkové množství papíru	1 700	6 300	t/r
Vytříděné množství papíru (kladná cena)	1 534	5 685	t/r
Pracovní doba	8	8,5	hod/den
Rychlost pásu	0,15		m/s
Roční provozní fond	619	2 158	hod/r
Vytíženost linky	30%	98%	%
Provozní náklady (elektrina)	515 318	1 907 258	Kč/rok
Provozní náklady (mzdy)	1 996 800	2 246 400	Kč/rok
Roční celkové náklady	7 653 476	9 295 016	Kč/rok
Náklady na tunu papíru	4 989	1 635	Kč/t
Provozní náklady na tunu papíru	2 015	588	Kč/t

V případě, že vytvoříme tzv. kombinovaný režim a bude současně zpracováván plast a papír při různém složení směny, výsledky z TE modelu budou vypadat následovně (tab. 21). Náklady na provoz jsou v tomto ohledu vztaženy na konkrétní pracovní fond, pro zvolenou kapacitu.

Tab. 21: Dotříd'ovací linka – vyhodnocení provozu pro kombinovaný scénář (papír, plast), scénář 1 (2017) a scénář 2 (2024)

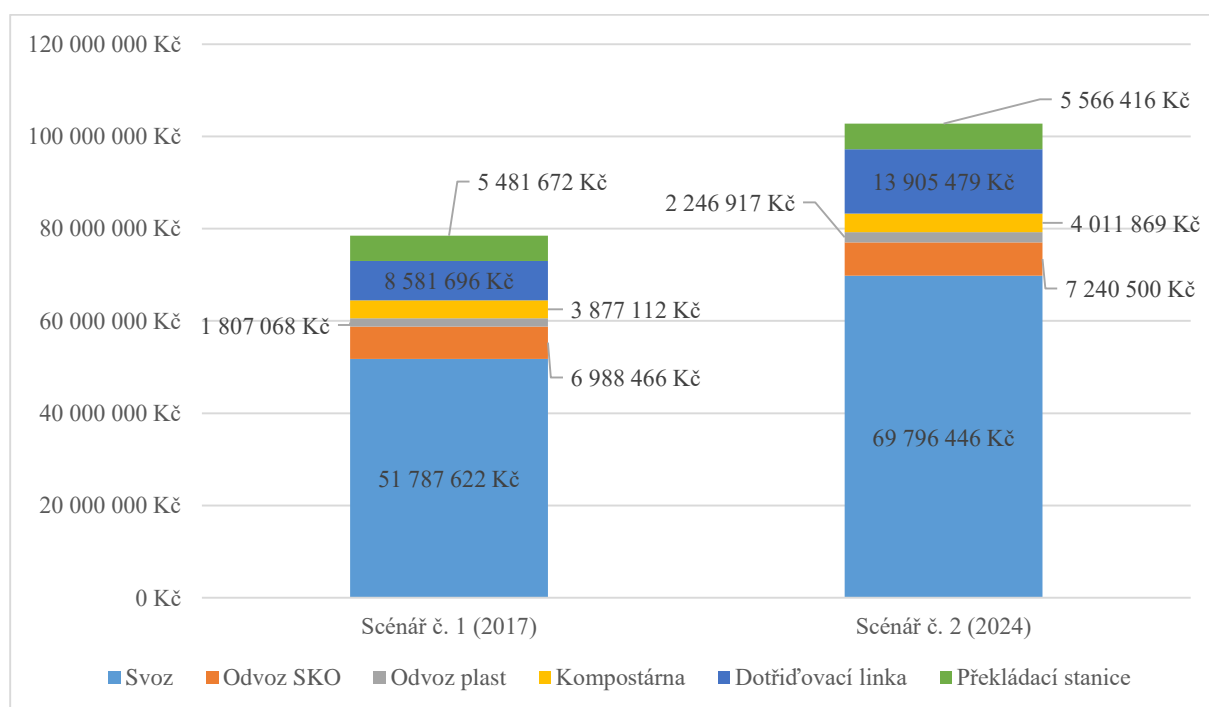
Ekonomika linky kombinovaný provoz	Scénář č. 1 (2017)	Scénář č. 2 (2024)	Jednotk a
Celkové množství plastu a papíru	3 100	9 100	t/r
Vytříděné množství plastu a papíru (kladná cena)	2 332	7 281	t/r
Pracovní doba	6,6	16,7	hod/den
Rychlost pásu	0,1 - 0,15		m/s
Roční provozní fond	1 698	4 449	hod/r
Provozní náklady (elektrina)	1 413 585	3 703 793	Kč/rok
Provozní náklady (mzdy) - přesné	2 026 752	5 060 328	Kč/rok
Roční celkové náklady	8 581 696	13 905 479	Kč/rok
Náklady na tunu - kompletní investice	3 680	1 911	Kč/t
Provozní náklady na tunu	1 945	1 343	Kč/t

6.3.5 Komplexní vyhodnocení případové studie

V kapitolách 6.3.1 až 6.3.4 byly vyčísleny vybrané scénáře pro rok 2017 a 2024. V roce 2024 je očekáván v České republice zákaz skládkování neupraveného komunálního odpadu. Tento zákaz sebou nese určité změny v celkovém systému nakládání s odpady, kdy budou převedeny hlavní proudy, zejména SKO, do jiných koncových zařízení (zejména zařízení EVO), která budou muset dokázat zpracovat vyšší kapacity. Současně je očekávájí, že vybrané komodity či frakce z SKO budou přesměrovány do jiných zpracovatelských zařízení, mezi které patří dotřídňovací linka, kompostárny, MBU, MBT, recyklační závody a jiné.

Na základě prognózování za pomoci nástroje *JUSTINE* je očekávájí, že dojde k nárůstu zejména separovaných složek – papír, plast, sklo, kov a Bio odpadu. Tento nárůst odpadů, který je zapříčiněn především vyšší mírou separace již od občanů sebou přinese celkové navýšení nákladů. Jak bylo zjištěno na základě výstupů z TE modelů, při přepočtu na 1 t, dojde k částečnému snížení nákladů z důvodu efektivnějšího využití vozového parku či zpracovatelských kapacit na hodnocených zařízeních. Současně je nutné zmínit, že největší dopad na ekonomiku mají hlavně mzdové náklady, které jsou v určitých případech více jak 50 %.

Z pohledu celkového dopadu na ekonomiku jsou očekávány zvýšené náklady na zpracování z pohledu celkové řetězce nakládání s odpady - obr. 77. Pro vybrané město se jedná o zvýšení o 23 896 310 Kč.

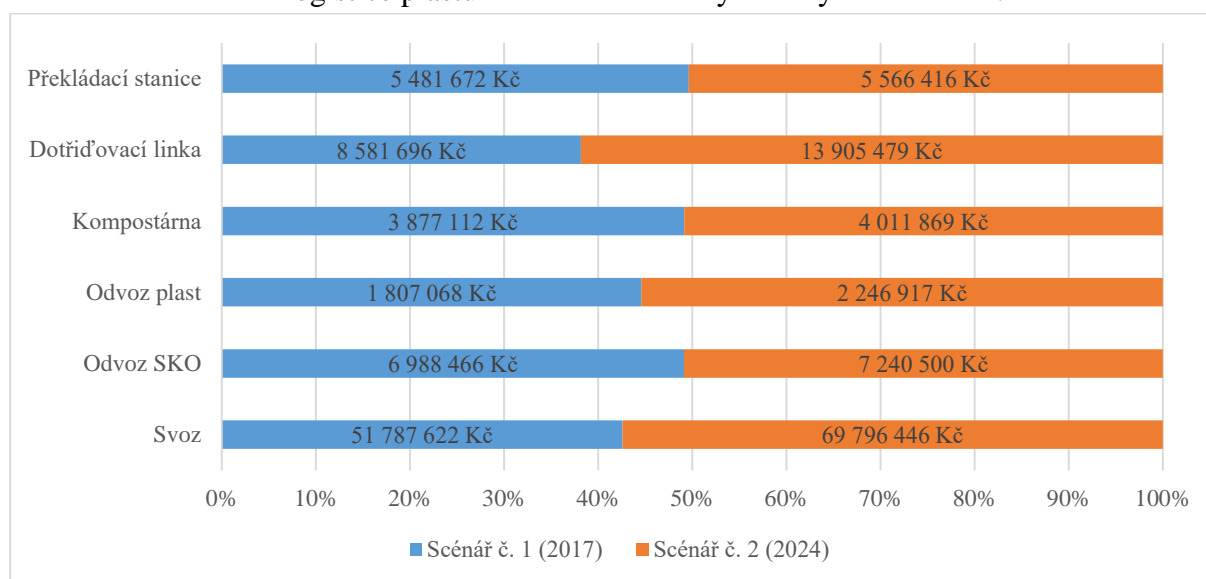


Obr. 77: Komplexní vyhodnocení vybraných scénářů č. 1 a č. 2

6.3.6 Závěrečné zhodnocení případové studie

Hlavním přínosem předkládané případové studie je představení komplexního nástroje a vyvíjených TE modelů, které lze aplikovat na libovolné území nejen v ČR. Hlavními vstupy do modelu je především množství odpadu a okrajové podmínky pro každé zařízení. Současně je nutné disponovat aktuálními ekonomickými parametry pro vybrané město, region či stát, aby výstupy z TE modelu byly zcela relevantní. Prezentované výstupy jsou realizovány na základě cen bez zohlednění zisků z prodeje výstupů (kompost, druhotná surovina, jiné).

Z ekonomického vyhodnocení je patrné, že v případě Scénáře č. 2, analýza OH v roce 2024, jsou očekávány vzrůstající náklady na celkový systém. Vzhledem k blížícímu se zákazu skládkování v ČR [50] a dodržení souladu s hierarchií je nutné se právě komplexním hodnocením a komplexním přístupem zabývat. Lze konstatovat, že byl vytvořen pokročilý nástroj, který dokáže zhodnotit celou řadu odpadových proudů. Tento nástroj zcela koresponduje s požadavky Waste Managment 4.0, kde mezi hlavní oblasti patří sledování a ekonomické hodnocení vybraných proudů odpadů. Pro finální zhodnocení byl vytvořen obr. 78, který poukazuje, že nejvyšší nárůst cen je v případě svozu odpadu, zpracování na dotříd'ovací lince a v logistice plastu z dotříd'ovací linky na recyklační závod.



Obr. 78: Porovnání jednotlivých scénářů č. 1 a č. 2

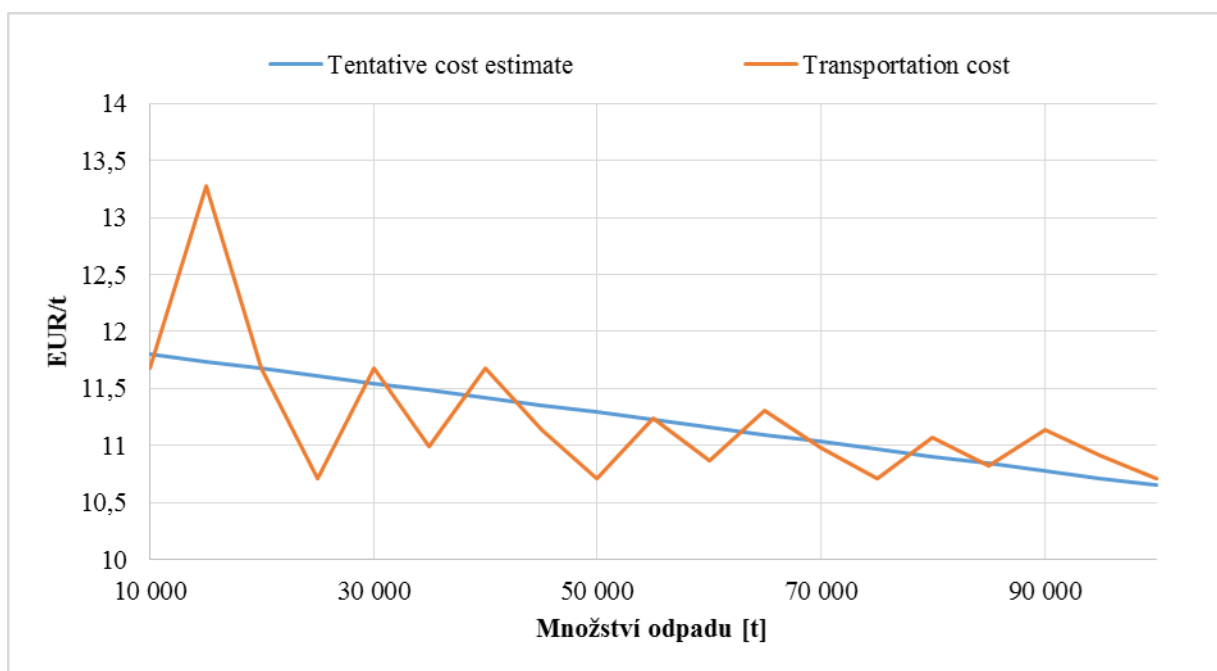
7 Využití TE modelů dopravních systémů v komplexních výpočtových nástrojích

V kap. 2 bylo uvedeno, že nástroj *NERUDA*, jako příklad síťové úlohy, dosud pracoval s fixní cenou dopravy (vyjádřenou obvykle v jednotce Kč/km.t). Jak ukazují analýzy pro konkrétní případy (viz kap. 5), cena dopravy závisí na vzdálenosti a přepravovaném množství. Vyčíslení dopravních nákladů bylo testováno pro reálnou dopravní síť České republiky s celkovými 206 uzlovými body (detail na úrovni obcí s rozšířenou působností). Z komplexní analýzy vyplynuly tyto body:

- Ovlivňující parametry jsou **vzdálenost** a **přepravovaná kapacita**. Stejná závislost jako na vzdálenosti při fixním dopravovaném množství (množství odpadu na hraně) lze pozorovat při **konstantní vzdálenosti** a při **proměnném dopravním množství**.
- Podle výsledných analýz je patrné, že popelářské vozy by měly být cíleně využity pro systém rychlého sběru. Následně by byl realizován odvoz na další zpracování, v co nejkratší nájezdové vzdálenosti a provozním čase.
- Pro delší nájezdové vzdálenosti byla k dispozici překládací stanice s lisovacím systémem (přibližně pro vzdálenosti od 20 km). Určení polohy a kapacitního řešení překládací stanice je výsledkem optimalizační úlohy z nástroje *NERUDA*.
- Obecně lze konstatovat, že pro delší nájezdové vzdálenosti a větší produkci odpadů je ekonomicky vhodnější varianta s překládací stanicí a lisovacím systémem. V tomto případě je nutné zohlednit maximální váhové limity, dopravní omezení a časový faktor.

Nástroj *NERUDA* popisuje vybrané území pomocí síťových grafů, které modelují dostupnou silniční síť. Hustota silniční sítě je závislá na detailu celkového řešení a ovlivňuje výpočtovou náročnost. Sledovaným parametrem jsou náklady, které jsou závislé na množství odvezeného odpadu a na dopravní vzdálenosti (viz výše). Při uvažování konstantní ceny (Kč/km.t) se dopouštíme výrazného zjednodušení, které může mít vliv na výsledky optimalizační úlohy. Proto byla provedena analýza možností implementace výše uvedených cenových modelů.

Při výpočtech síťového toku lze využít různé modifikace sítě, nad kterou optimalizační výpočet probíhá. Nejjednodušší síť je tvořena pouze hranami popisujícími spojnice mezi nejbližšími body. Tento typ sítě v zásadě znemožňuje implementaci složitějších modelů ceny dopravy, protože známe pouze dílčí vzdálenosti a dopravovaná množství po krátkých spojnících mezi uzly. Informace o výsledné vzdálenosti ani dopravovaném množství ve smyslu producent – zpracovatelské zařízení není dostupná. Druhým extrémem je kompletní graf, kde existují vzájemné spojnice mezi všemi uzly. Výhodou kompletních grafů je známá vzdálenost mezi dvěma libovolnými uzly a tedy možné zpřesnění dopravních nákladů. Nevýhodou je pak výpočtová náročnost v důsledku nárůstu proměnných. Problém s vyčíslením dopravních nákladů nastává v případě množství odpadu na jednotlivých hranách. Množství odpadu je výsledkem optimalizační úlohy a dopravní náklady jsou tedy funkcí proměnné. Ukázkový příklad pro konkrétní hranu na obr. 79 demonstruje závislost pro hranu se vzdáleností 82 km.



Obr. 79: Vyčíslení dopravních nákladů odpadu pro různé roční kapacity na definovanou vzdálenost (jeden scénář pro nájezdovou vzdálenost do zařízení EVO ve vzdálenosti 82 km) lisovaný systém²⁸

Pro každou hranu kompletního grafu lze určit funkci obdobnou jako na obr. 79. Její pilovitý tvar by vedl na úlohu nelineárního programování, jejíž řešení není reálné. Z důvodu řešitelnosti by bylo nutné linearizovat úlohu po částech lineární funkcí se skoky nebo přistoupit k heuristickým řešením dané problematiky [36], [37].

Aby byla úloha řešitelná, musí být nákladová funkce lineární anebo linearizovaná. Lineární model získaný metodou nejmenších čtverců je uveden na obr. 79. Celkové dopravní náklady, které vstoupí do cílové funkce pro hranu, jsou dány vztahem:

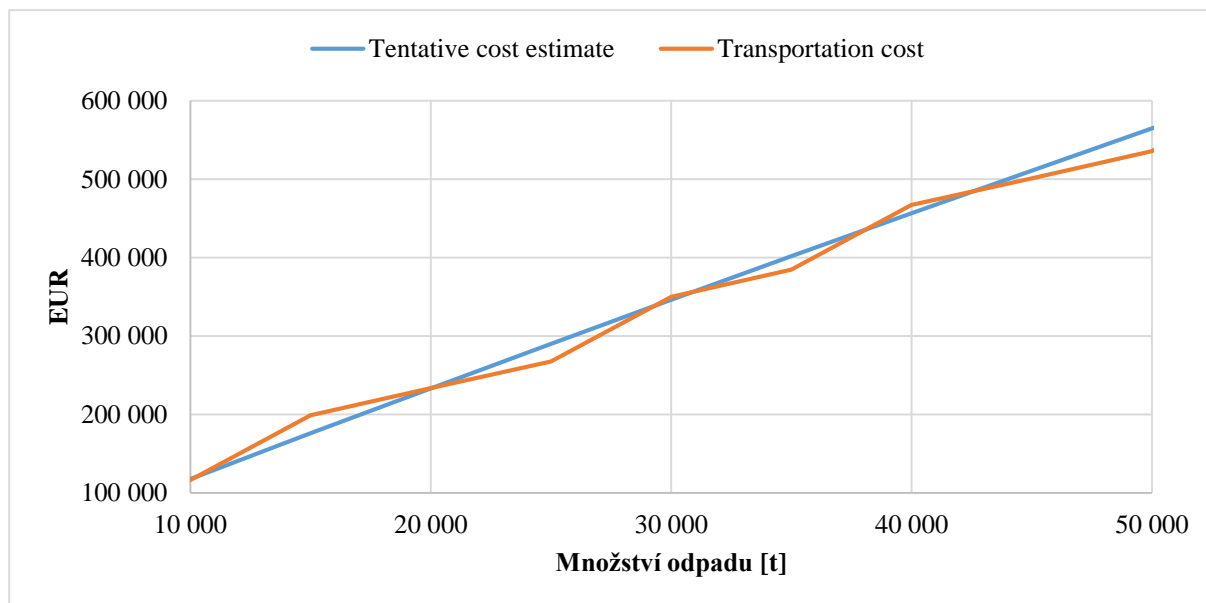
$$\text{Dopravní náklady cena} = \text{Množství odpadu} \cdot \text{Cena}_{\text{Náklady na tunu (množství odpadu)}} \quad (1)$$

, kde jednotková cena za dopravu je závislá na přepravovaném množství (viz obr. 79). Přepravované množství je neznáma a je výsledkem celkové optimalizační úlohy. Tímto se dostáváme do určitého omezení (celkové náklady na dopravu), součin dvou neznámých veličin, čímž se stává úloha nelineární. Tato nelinearita by významným způsobem zkomplikovala řešitelnost úlohy. Problém lze ale vyřešit úpravou rovnice 1, kdy proměnnou budeme uvažovat pouze ve formě přepravovaného množství (viz rovnice 2 a obr. 79).

$$\text{Náklady}_{\text{Cena dopravy 1 t}} \cdot \text{Množství odpadu na hraně} \quad (2)$$

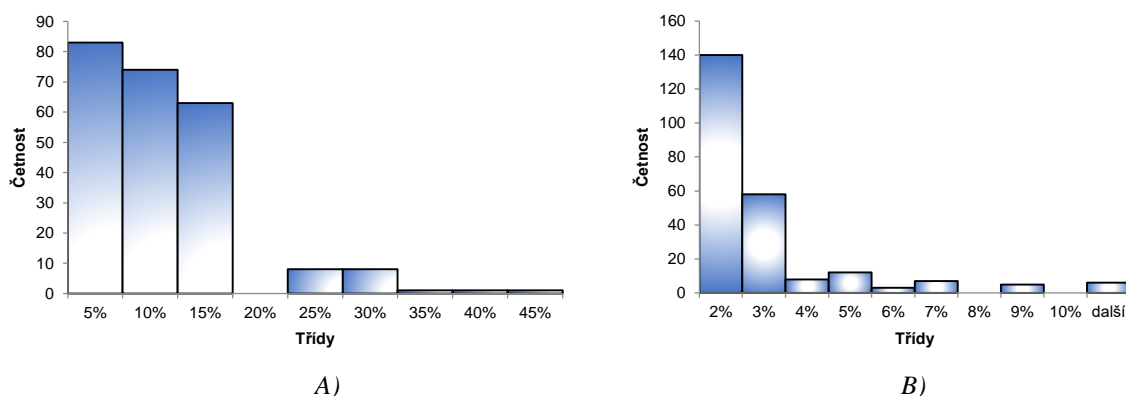
²⁸ Převzato z autorova článku Transportation Cost as an Integral Part of Supply Chain Optimization in the Field of Waste Management

Tímto přístupem nebude v úloze vystupovat jednotková cena za dopravu (viz obr. 80), ale jen celkové náklady (závislost celkových nákladů na přepravovaném množství se před-počítá před optimalizací z jednotkové ceny).



Obr. 80: Vyčíslení dopravních nákladů odpadu pro různé roční kapacity na definovanou vzdálenost (jeden scénář pro nájezdovou vzdálenost do zařízení EVO ve vzdálenosti 82 km)²⁹

Linearizace přináší dílčí chyby, které byly vyhodnoceny. Jako příklad je uveden histogram (obr. 81), který byl vytvořen na základě reálné dopravní sítě 206 vzájemně propojených ORP. Bylo vybráno několik spojinic a pro ně vyčísleny náklady na dopravu v závislosti na přepravovaném množství a vytvořena charakteristická pilovitá funkce (variabilní ceny) a lineární funkce. Velikost maximálních chyb je popsána v histogramu na obr. 81A a velikost průměrných chyb na všech uvažovaných vzdálenostech je zobrazena na obr. 81B.



Obr. 81: A) Histogram pro maximální chybu modelu, B) Histogram pro průměrnou chybu na intervalu 10 až 100 kt/r

²⁹ Převzato z autorova článku Transportation Cost as an Integral Part of Supply Chain Optimization in the Field of Waste Management

Největších chyb navržený lineární model vykazuje v případě přepravy menšího množství odpadu (přibližně se jednalo o 20 kt). Tento jev je následně umocněn, za předpokladu posuzování hran o malé vzdálenosti (v našem případě cca do 20 km). Při zohlednění delší vzdálenost, tj. délka hrany nad 20 km až do cca 240 km, bylo zjištěno, že průměrné chyby na jedné hraně nepřesahovaly 10 %, což lze chápat z pohledu celkového řešení jako akceptovatelnou chybu v závislosti na zjednodušení výpočtové náročnosti. Alternativou může být po částech lineární model. Zvýšená přesnost se negativně projeví v nutnosti implementace celočíselného optimalizačního modelu, který zajistí vypínání a zapínání jednotlivých částí cenového modelu.

Pokračování v těchto analýzách bude řešeno v rámci disertační práce kolegy Ing. Františka Janošáka, který se zabývá optimalizací odpadového hospodářství³⁰. S uvedeným kolegou byl vytvořen příspěvek na mezinárodní konferenci WasteEng 2018 [51].

³⁰ Pojednání k disertační práci na téma Výpočtový systém pro oblast efektivní integrace a spolupráce zdrojů energie

8 Závěr

Dizertační práce, se zaměřuje na problematiku dopravních **technicko-ekonomických modelů** (TE modelů), které mají za cíl stanovit **cenu dopravy**, resp. odhadnout **cenu celkového zpracovatelského řetězce**. TE modely jsou připraveny zcela univerzálně tak, aby dokázaly pracovat s libovolnými scénáři a bylo možné stanovit, na základě uživatelem zvoleného scénáře, požadované ceny. Jedná se zejména o dopravní náklady vztažené na hmotnost přepravované komodity (standardně náklady na t), vyčíslení ročních nákladů pro vozové parky, stanovení nutných investic pro fiskální roky stávajících vozových parků, vyčíslení provozních nákladů nebo přípravu citlivostních analýz v případě změny ceny mýtného systému, PHM či jiného parametru. Modely lze rovněž využít k návrhu zcela nových vozových parků, které jsou vhodné při zavádění nových odpadních toků ve městech (např. zavedení svozu Bio odpadu), úprava stávajícího systému nakládání, úpravách a optimalizaci celkového odpadového hospodářství. Současně je nutné zmínit, že bylo potřeba řešit i další zpracovatelská zařízení ve formě TE modelů, právě za účelem hodnocení celkového zpracovatelského řetězce.

V oblasti TE modelů byly vytvořeny následující modely a dílčí výstupy:

- TE model pro silniční dopravu v **systému sběru**, který byl testován na reálných provozních datech. (kapitola Silniční doprava – Svozové systémy)
- TE model pro silniční dopravu v **systému odvozu**, který byl testován na reálných provozních datech (kapitola Silniční doprava – Odvozové systémy a emisní model).
- **Databáze vozidel** pro přepravu odpadů.
- TE model **překládací stanice**, který byl testován na provozních datech. (kapitola Silniční doprava – Překládací stanice).
- TE model pro hodnocení a nákladovost sběrných nádob pro různé odpady a velikosti sběrných nádob.
- TE model pro hodnocení a odhad nákladů systémů sběru (např. možnost hodnocení **DRY Recyclables** vs. **standardní sběr**).
- Vytvořen model pro zpracování **výškového profilu dopravní cesty** v kontextu vyčíslení aktuální spotřeby a produkce vybraných emisních polutantů.
- TE model pro **železniční dopravu včetně časového modelu** (kapitola Železniční doprava).
- TE **model vlečky** v rámci železniční dopravy.
- **Model dopravní železniční sítě** s možností hledání **nejkratší dopravní cesty**.
- TE model pro **třídící a dotříd'ovací linku**.
- TE model pro **kompostárnu**.
- Metodika pro hodnocení komplexního řetězce v odpadovém hospodářství, tzv. **Flow Task Methodics** (tokový model).

Mezi klíčové výstupy disertační práce patří software **WTP** (výstup projektu WtECC s indikátorem typu R), který zahrnuje propojení tří hlavních TE modelů:

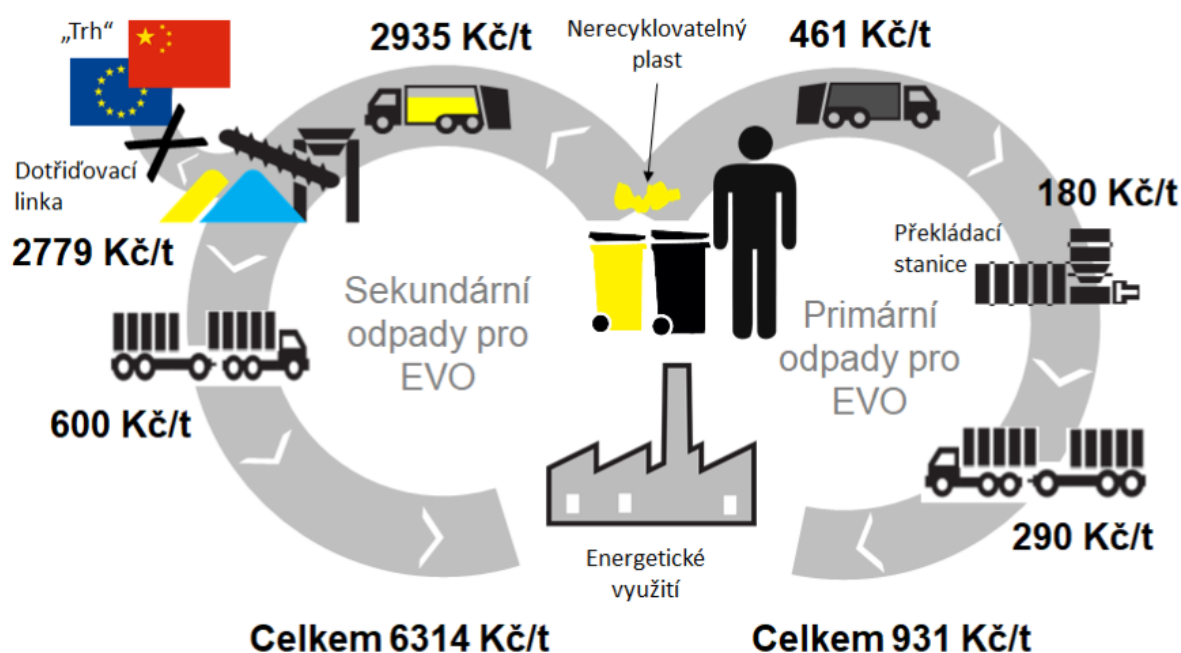
- Model svozový.
- Model odvozový.
- Model překládací stanice.

Software WTP umožňuje vyčíslit:

- Cenu na bráně zařízení EVO.
- Celkovou ekonomiku provozu pro každý submodel zvlášť – svoz, odvoz a přeložení.
- Roční produkci CO₂ spojenou s přepravou odpadu.
- Výstupy jsou prezentované v hodnotové a grafické formě s možností exportu do textového editoru.

Prezentované **TE modely jsou schopny ekonomicky vyhodnotit nákladovost** na základě zadaného scénáře, resp. navrhnout vhodné řešení v kontextu požadavků zadavatele. Lze komplexně **hodnotit a porovnávat dopravní řetězce, hodnotit emisní zátěž, vytížení jednotlivých dopravních systémů** a demonstrovat **intenzitu** (navýšení/úbytek) **dopravy** za pomoci mapových podkladů v nástroji ArcGIS PRO. Obecně lze konstatovat, že hlavním cílem disertační práce bylo **vytvořit pokročilé, unikátní a komplexní TE modely** v silniční a železniční dopravě za účelem možnosti **generování cen na reálných dopravních sítích ČR a zahraničí**.

Současně v kontextu vybraného dopravního řetězce bylo dokázat generovat, v rámci uživatelem vybraného scénáře, **cenu na bráně koncového zařízení** – ukázka obr. 82, vyčíslení motivačního obrázku z kapitoly Motivace.



Obr. 82: Srovnání dvou cest plastového odpadu (primární a sekundární cesta) – ukázka možných hodnot

Takto obecně charakterizované cíle byly úspěšně splněny, čemuž nasvědčují prezentované případové studie v kapitole Aplikace a využití TE modelů. Současně je nutné zmínit, že veškeré prezentované **dopravní TE modely jsou otevřené** (možnost uživatelské modifikace) a lze je využít pro libovolnou přepravovanou komoditu a bez omezení skupenství, tvaru či materiálu. Současně v TE modelech zařízení lze analyzovat libovolnou úroveň detailu.

9 Další rozvoj systému a TE modelů disertační práce

Je očekáván další rozvoj systému, který se bude prioritně zaměřovat na několik vytipovaných oblastí, jedná se o:

- Železniční dopravu.
- Námořní dopravu v návaznosti na nový projekt Clean Ocean Project.
- Zpřesnění a rozvoj TE modelů zpracovatelských zařízení.
- Aktualizace stávajících TE modelů.

9.1 Rozvoj železniční dopravy

V oblasti železniční dopravy bude aktivita zaměřena na možnost využití stacionárních překládacích stanic. Tyto stanice jsou vhodné pro vykládku a nakládku kontejnerů, buďto na překladištích nebo na koncových zařízeních (zařízení EVO, MBÚ, recyklační závody). Součástí překládací stanice je i manipulační schopnost, tj. např. výsyp kontejnerů na koncovém zařízení - zařízení EVO. V tomto ohledu byla oslovena společnost Innofreight, která patří k silným subjektům v oblasti železniční i kombinované dopravy nejen na území ČR. Je tedy zcela relevantní najít potenciál ve spolupráci, která by se do budoucna ideálně měla překllopit do spolupráce ve formě projektu, zakázky nebo případové studie.

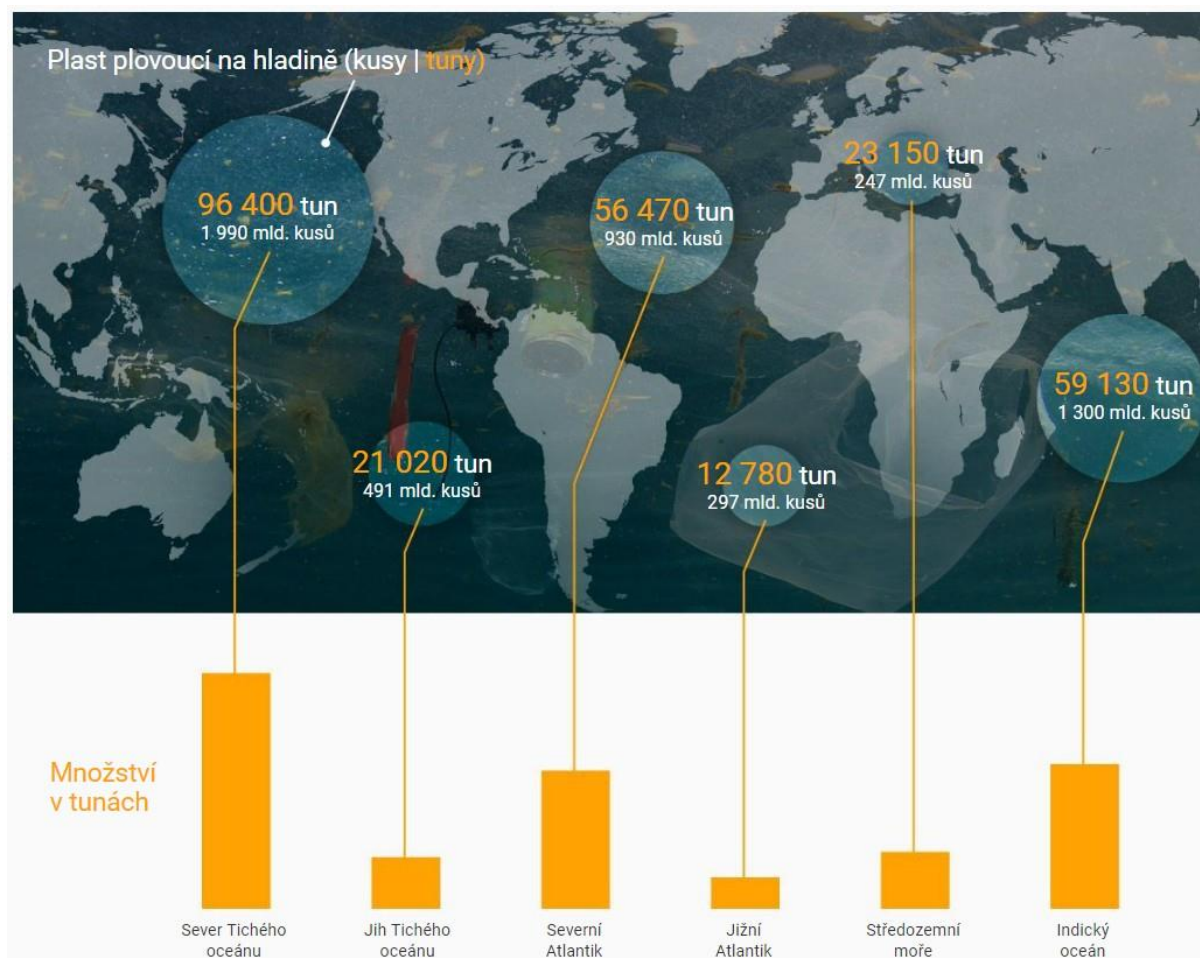
9.2 Rozvoj lodní dopravy

V oblasti dalších dopravních možností je velmi populární i lodní doprava (říční, námořní), avšak v případě České republiky je propojitelnost na úrovni evropských lodních sítí zatím značně problematická (sítě jsou nedokončené) a z důvodu nestálosti hladiny (potenciál celoroční sjízdnosti) se jedná spíše o jednorázově či krátkodobě (sezóně) využitelné dopravní systémy. Z tohoto důvodu je říční doprava na úrovni ČR chápána jako neefektivní.

Na druhé straně je doprava námořní, která vystupuje jako klíčová v novém projektu Clean Ocean Project (COP). Cílem projektu je vytvořit případovou studii s vhodnou metodikou a poukázat na technické řešení, jakým způsobem lze efektivně čistit oceány od plastového odpadu. Hlavní idea projektu je pořízení lodě s určitou technologií (třídění odpadu, spalování, pyrolýza, technologie TWINS a další), která se bude plavit v blízkosti pobřeží, přítoků řek, v deltách řek či se bude plavit na širém oceánu a během svého pohybu bude zachytávat odpad. Soustředění je především na plastový materiál, kterého je v oceánu velké množství. Problematika odpadů v oceánu lze rozdělit do dvou úrovní detailu:

- Mikro odpad – zejména mikroplasty.
- Ostatní odpad (plovoucí odpad) – plastový odpad, dřevo, plechovky a jiné.

Plocha oceánu pokrývá celkem 361,3 mil. km² (71 % povrchu planety), dle odhadů se v oceánu nachází 269 000 tun plastů, hlavní koncentrace plastů je patrná na obr. 83. [52]



Obr. 83: Hlavní koncentrace plastů v oceánu [53]

Největší množství plastů se do oceánu dostává z řek, odborníci odhadují až 90 % všech plastů. Jedná se o řeky, které protékají nejhustěji osídlenými oblastmi světa - obr. 84. Současně se jedná o chudé oblasti, které problematiku odpadů vůbec neřeší a tím dochází k obrovskému „zásobování“ oceánu odpadem. Obyvatelé těchto chudých oblastí buďto přímo vyhazují odpad do řek nebo se odpad dostává do řek ze skládek (legální i nelegální). Je odhadováno, že každoročně se do oceánu dostane více jak 8 mil. tun plastů (280 mil. tun plastů bylo vyrobeno v roce 2016).



Obr. 84: Zobrazení hlavních řek, které mají největší dopad na znečištění oceánu [53]

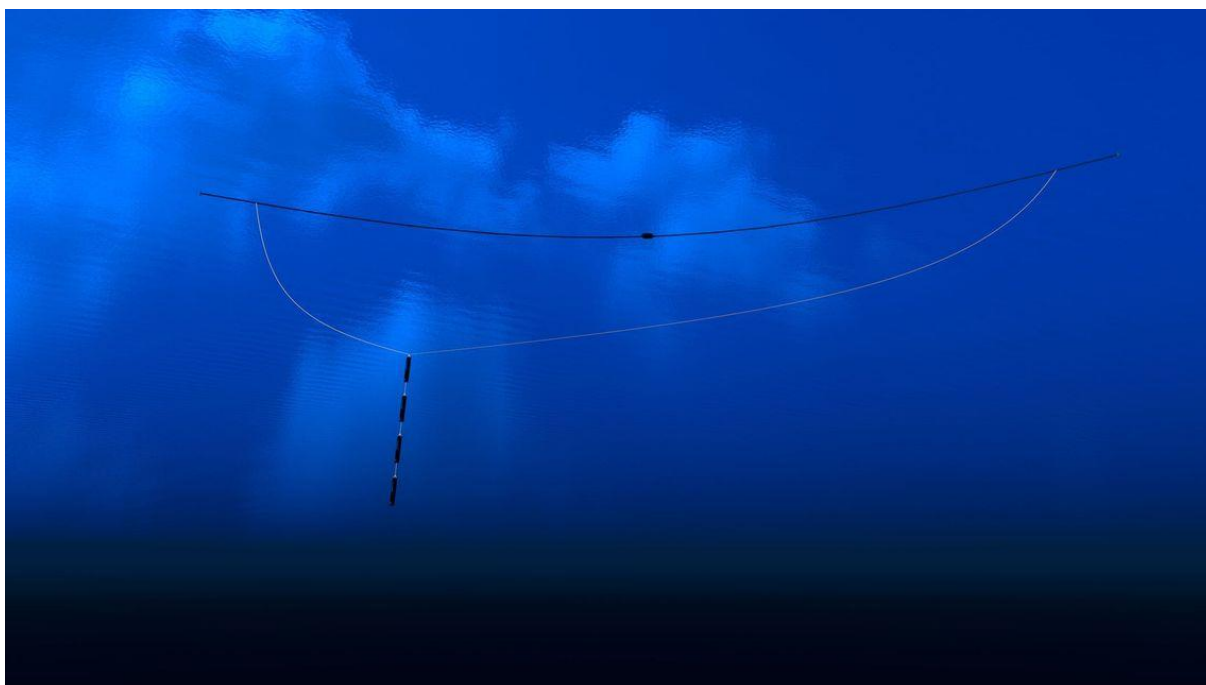
Oceány jsou zasaženy znečišťováním především mikroplasty, kterých je dle vědeckých studií 92 % z celkového plastového odpadu v oceánu. Mikroplasty jsou charakterizovány velikostí granulí menší jak 5 mm. Problematika mikroplastů je známá především z těl uhynulých živočichů nejen těch mořských, ale zejména ptactva - obr. 85.



Obr. 85: Ukázka žaludku uhynulého mrtvého ptáka [54]

Typickým plastovým odpadem, který lze nalézt u pobřeží jsou plastové láhve, kbelíky, pantofle, opalovací krémy, zubní kartáčky a nesmí se zapomenout na rybářské vybavení. V případě rybářského vybavení je „proslavená“ oblast na severu od Austrálie, kde se objevují tzv. sítě duchů. Jedná se o staré zamotané rybářské sítě, které se nacházejí v oceánu a jsou velmi nebezpečné pro místní faunu (zachytávání a poranění).

Potenciál pro čištění oceánů je značný, hlavním úskalím je identifikace míst s koncentrovaným výskytem plastů a ekonomika celkového řešení. Mezi průkopníky čištění oceánu patří nezisková společnost The Ocean Cleanup³¹, která vyvinula plastové nafukovací rameno, které samovolně pluje po oceánu a za pomoci zástěny zachytává odpad. Taktéž bylo zjištěno, že největší koncentrace odpadu je do hloubky 1 m. Společnost The Ocean Cleanup uvádí, že při zachytávání odpadu nedochází k ohrožení fauny ani flory v oceánu – ukázka ramene je zobrazena na obr. 86.



Obr. 86: Plovoucí záchytné rameno společnosti The Ocean Cleanup [55]

Pro úspěšné řešení projektu COP je nutné najít optimální poměr mezi ekonomickou a ekologickou stránkou popsané problematiky.

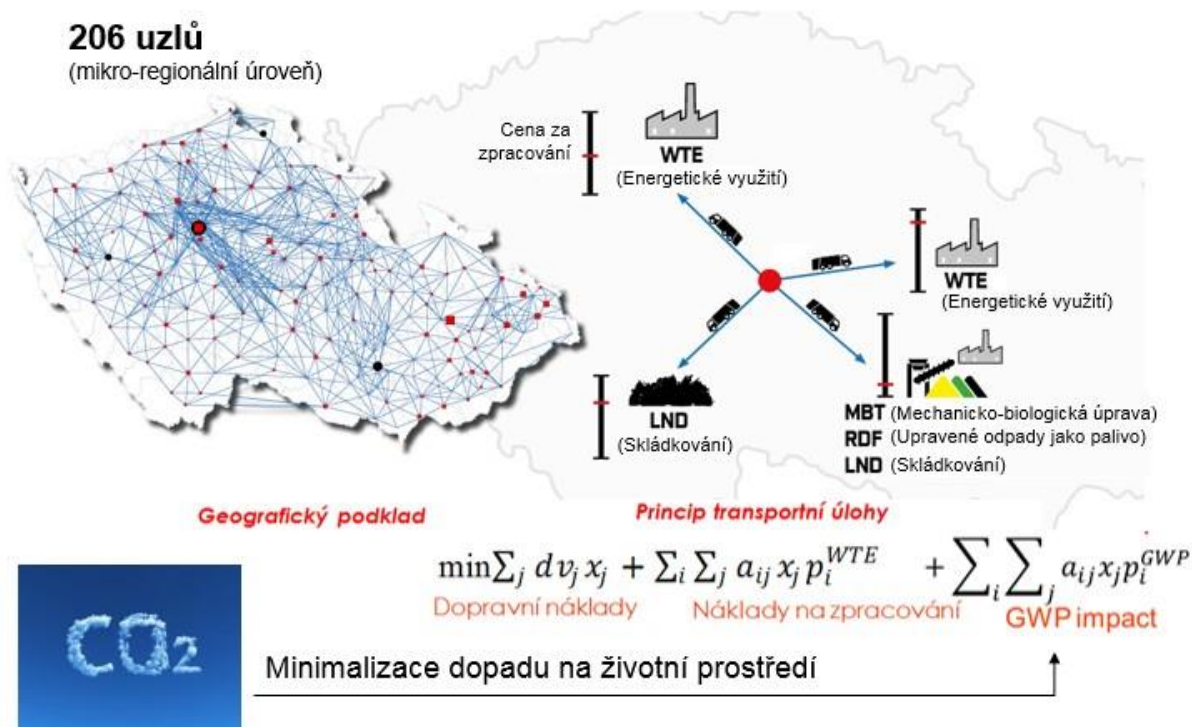
9.3 Zpřesnění a rozvoj TE modelů zpracovatelských zařízení

Jak bylo uvedeno v případové studii č. 3, nad rámec disertační práce byly vyvinuty další TE modely (třídící, dotřídňovací linka, kompostárna). ÚPI disponuje ještě dalšími TE modely, jedná se o modely zařízení MBÚ, zařízení EVO a další. Všechny tyto modely je nutné dále zpřesňovat a rozšiřovat pro potřeby reálných zpracovatelských zařízení. TE modely jsou např. vhodné pro

³¹ Dostupné z <https://www.theoceancleanup.com/>

analýzu provozů a možnost ekonomické zhodnocení při navýšení vstupní suroviny, cílem je dokázat jednotlivé modely komerčně nabízet a testovat na reálných zařízeních.

Mezi další plánované TE modely patří např. modely čistírny odpadních vod (ČOV), recyklační závody, resp. recyklační linky a technologická zařízení plánovaná v rámci projektu COP. V návaznosti na svozové TE modely je nutné se do větší míry zabývat i systémem, jakým se odpad reálně sbírá a jaký systém je ekonomicky efektivní z pohledu celkového řešení (obr. 87).



Obr. 87: Motivační obrázek charakterizující nástroj NERUDA (princip transportní úlohy, cíl: minimalizace nákladů)

9.4 Aktualizace stávajících dopravních TE modelů

V oblasti **silniční dopravy** je nutné dále rozvíjet a zpřesňovat dílčí modely **svozové** (sběrné) **části**, modely pro **přeložení** a modely **odvozové**, které prioritně přepravují větší množství komodity do vybraného koncového zařízení (např. zařízení EVO). Značným přínosem v oblasti aktualizace jsou konzultace těchto modelů s odborníky a ověření modelů na základě provozních dat. Zajištění nezbytné datové základny a tím i možnost vytvoření rozsáhlých databázových seznamů je klíčové pro zajištění kvalitních dopravních analýz. Současně i aktualizace celkových ekonomických vstupů do modelů.

V oblasti **železniční dopravy** se jedná o **testování na základě provozních dat**, a především zajištění kvalitní a detailní železniční sítě (algoritmus pro tvorbu železničních dopravních cest byl představen v kapitole Železniční doprava).

10 Akademické aktivity

Soupis základních aktivit za období doktorského studia, tj. 9/2014 – 12/2018

10.1 Publikace

- ŠOMPLÁK, R.; TOUŠ, M.; PAVLAS, M.; GREGOR, J.; POPELA, P.; RYCHTÁŘ, A. Multi-Commodity Network Flow Model Applied to Waste Processing Cost Analysis for Producers, Chemical Engineering Transactions. In Proceedings of the 18th International Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES 2015). CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. Milano, Itálie: AIDIC Servizi Srl, 2015. s. 733-738. ISBN: 978-88-95608-36- 5. ISSN: 2283-9216.
- ZAVÍRALOVÁ, L.; ŠOMPLÁK, R.; PAVLAS, M.; KROPÁČ, J.; POPELA, P.; PUTNA, O.; GREGOR, J. Computational system for simulation and forecasting in waste management incomplete data problem. In Proceedings of the 18th International Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES 2015). CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. Miláno, Itálie: Aidic Servizi Srl, 2015. s. 763-768. ISBN: 978-88-95608-36- 5. ISSN: 2283-9216.
- GREGOR, J.; ŠOMPLÁK, R.; PAVLAS, M. Transportation Cost as an Integral Part of Supply Chain Optimization in the Field of Waste Management, v tisku
- KROPÁČ, J.; GREGOR, J.; PAVLAS, M. Material vs. Energy Recovery – An Assessment Using Computational Tools NERUDA and JUSTINE. In Pomberger, R., Trieb, T. (Eds.): Tagungsband zur 13. Recy & DepoTech- Konferenz. Leoben, Austria: Montanuniversität Leoben, 2016. s. 773-776. ISBN: 978-3-200-04777- 8.+
- NEVRLÝ, V.; ŠOMPLÁK, R.; GREGOR, J.; PAVLAS, M.; KLEMEŠ, J. Impact on the Population from the Transportation of Waste based on Emission Models. In ISSN 1847-7186 (book of abstracts) ISSN 1847-7178 (digital proceedings). Proceedings of SDEWES 2017 12th Conference on Sustainable Development of Eneergy, Water and Environmental Systems. Zagreb, Croatia: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb, 2017. s. 1-14. ISSN: 1847-7178.
- KROPÁČ, J.; GREGOR, J.; PAVLAS, M. Waste-to-Energy Role in Circular Economy Concept - Modelling Approach. In Pomberger, R., Trieb, T. (Eds.): Tagungsband zur 14. Recy & DepoTech-Konferenz. Leoben, Austria: Montanuniversität Leoben, 2018. s. 1-8. ISBN: 978-3-200-05874-3.
- NEVRLÝ, V.; ŠOMPLÁK, R.; GREGOR, J.; PAVLAS, M.; KLEMEŠ, J. Impact Assessment of Pollutants from Waste-related Operations as a Feature of Holistic Logistic Tool. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2018, roč. 220, č. 1, s. 77-86. ISSN: 0301-4797.
- NEVRLÝ, V.; ŠOMPLÁK, R.; GREGOR, J. Prognóza produkce BRKO a nákladů na jeho sběr a svoz. Odpadové fórum, 2018, roč. 19, č. 5, s. 30-31. ISSN: 1212-7779.

- GREGOR, J.; PAVLAS, M.; KROPÁČ, J.; NEVRLÝ, V. Hodnocení nákladů různých cest svozu a odvozu separovaných složek. Odpady, 2018, č. 2018/07, s. 25-26. ISSN: 1210-4922.
- GREGOR, J.; PAVLAS, M.; KROPÁČ, J. Porovnání nákladů na dvě cesty materiálově nevyužitelných odpadů. Odpadové fórum, 2018, č. 2018/06, s. 28-29. ISSN: 1212-7779.
- GREGOR, J.; KROPÁČ, J.; PAVLAS, M. Sorting Line Modelling as an Integral Part of Complex Tools for Decision-making in Waste Management. In CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. 2018. s. 1561-1566. ISBN: 978-88-95608-67-9.
- GREGOR, J.; KROPÁČ, J.; PAVLAS, M. Collection Of Dry Recyclables As An Effective Step In Waste Management?. In 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGIES & BUSINESS MODELS FOR CIRCULAR ECONOMY. Portorož, Slovinsko: University of Maribor Press, 2018. s. 1-10. ISBN: 978-961-286-211-4.
- GREGOR, J.; JANOŠŤÁK, F.; PAVLAS M.; ŠOMPLÁK, R. Waste transportation cost in advanced network flow models, Praha, 2018.

10.2 Zapojení do výzkumných projektů

Přehled řešených aktivit v oblasti dopravní problematiky ve výzkumných projektech.

10.2.1 WtECC

Výzkumný projekt č. TE02000236 "Waste-to-Energy (WTE) Competence Centre". Autor předkládané práce se podílí na řešení jako hlavní autor nebo spoluautor níže uvedených výstupů:

Dílčí cíle projektu WtECC (DC)

DC04.1: *Investigation of waste transportation systems with focus on intermodal transport*, (ukončeno 6/2014).

DC04.2: *Proposal of transportation limitations based on transportation infrastructure survey*, (ukončeno 3/2015).

DC04.3: *Investigation of abroad experiences with rail transport*, (ukončeno 6/2015).

DC04.4: *Investigation of legislation related to across border transport*, (ukončeno 6/2015).

DC04.5: *Development of techno-economic models related to waste transport*, (ukončeno 8/2016).

DC07.3: *Development of techno-economic models of promising technological units*, (aktivita bude ukončena 12/2017).

DC05.4: *Continuous updating of data*, (aktivita ukončena 12/2018).

DC07.4: *Evaluation of potential application of selected waste treatment systems in the Czech Republic*, (aktivita ukončena 12/2018).

Dílčí výstupy projektu WtECC (DV)

DV014: *Study on application of computational tools for WtE site proposal*, (ukončeno 3/2015).

DV026: *Transport of waste for energy recovery*, (ukončeno 1/2016).

DV028: *Study on waste collection area proposal*, (ukončeno 3/2016).

DV046: *Material recovery of waste – technology and products utilization* (ukončeno 3/2017)

Software projektu WtECC

V007: *Tool for proposal of waste supply chain* (from producers to a treatment plant), (ukončeno 6/2016).

10.2.2 Tuzemské případové studie

Ministerstvo životního prostředí - dokument 4.6

Vyčíslení a generování cen pro dopravní problematiku TAP a SKO v rámci projektu „Příprava podkladů pro oblast podpory odpadového hospodářství 2014–2020“, zadavatel: Ministerstvo životního prostředí ČR, subdodávka pro EY (2015)

Zemědělská a ekologická regionální agentura, z.s.

Optimalizace svozu a zpracování kompostování odpadu z veřejné zeleně a domácností v regionu Tábor, Sezimovo Ústí a Planá nad Lužnicí včetně provozních nákladů, Objednatel: Zemědělská a ekologická regionální agentura, z.s. (11/2016)

C-Energy Planá

Studie dopravní zátěže v regionu Tábořsko, intenzita dopravy (2/2017)

Technické služby města Olomouce, a.s.

Studie efektivity překládací stanice s dopadem na dopravní úlohu (10/2018)

Energetické agentury Zlínského kraje, o.p.s.

Studie nakládání s nemocničním odpadem v regionu Zlínsko (2019)

10.2.3 Zahraniční případové studie

Ukrajina – řešení dopravní problematiky a příprava vstupů do nástroje *NERUDA* na základě vytvořené dopravní sítě na území Ukrajiny. Detailně byla popsána západní část Ukrajiny, konkrétně Ivano-Frankovská oblast a Lvovská oblast. Výstupem byla základní případová studie pro výstavbu zařízení EVO na území Ukrajiny a základní bilanční toky odpadů.

Rusko – Iževsk – Udmurtská republika, vytvoření dopravní sítě v rámci Udmurtské republiky, příprava vstupů do nástroje *NERUDA* (ekonomické ohodnocení dopravních cest) a vytipování lokalit pro potenciální výstavbu zařízení EVO. Výstupem studie byla základní rozvaha o tocích odpadu přes Udmurtskou republiku.

10.3 Edukační činnost

Energie a emise (FSI-KEE-A) – vedení závěrečného projektů v roce 2016 a 2017.

Zpracování a recyklace odpadů (FSI-KOD) – příprava podkladů pro prezentace na téma dopravní problematika, třídící linky, druhotná surovina, systémy sběru.

Příprava a vedení projektů pro freemovers – kooperace s univerzitou Augsburg – délka projektu jeden měsíc

8/2014 – Waste Flow Simulation at International Level (4 studenti)

2/2015 – NERUDA in Ukraine (4 studenti)

9/2015 – Waste flow simulation in specific area in Russia and Great Britain (3 studenti)

Spoluorganizátor semináře závěrečných prací pro bakaláře a diplomanty

- 5/2017
- 10/2017
- 3/2018

10.3.1 Vedení bakalářských a diplomových prací

Bc. Marie Koutná: **Transportní systémy v odpadovém hospodářství**

- Oponent: Pavlas, hodnoceno A

Bc. Zuzana Petrasová: **Příklady dobré praxe a netradičních systémů sběru odpadů**

- Oponent: Kropáč, hodnoceno A

Ing. Dominik Guštara: **Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce**

- Oponent: Kropáč, hodnoceno A

Ing. Alena Petříčková: **Efektivní nakládání s biologicky rozložitelným odpadem**

- Oponent: Ferdan, hodnoceno B

10.3.2 Posudky závěrečných prací

Bc. Kristýna Wildová: **Mechanicko-biologické způsoby zpracování odpadu**

Bc. Kateřina Jedličková: **Využitelnost plastových materiálů z komunálních odpadů**

10.4 Aktivní účast na konferencích

10/2014 – Španělské království, Mataro

- Workshop – Advancing Sustainable Waste Managment Worldwide – The case of Catalonia.
- Konference – Recuwatt | Recycling, Energy and Life – příspěvek: **NERUDA Tool supporting decision-making in waste managment**; oceněn jako nejlepší poster konference.

5/2015 – Ruská Federace, Moskva

WasteTech – příspěvek: **Program Supporting Decision-Making in Waste Management.**

5/2016 – Ukrajina, Kyjev

- Workshop – Scrum techniques.
- Konference – Project Management – Kiev 2016: XIII. International Scientifically-Practical Conference – příspěvek: **Waste To Energy: Experience And Prospects Of Cooperation.**

8/2016 – Česká republika, Praha

19th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES 2016) – příspěvek: **Transportation Cost as an Integral Part of Supply Chain Optimization in the Field of Waste Management.**

9/2016 – Česká republika, Praha

Odpady – ekologicky i ekonomicky – příspěvek: **Hodnocení budoucích nákladů na zpracování zbytkových odpadů.**

11/2016 – Rakouská republika, Leoben

Recy & DepoTech 2016 – příspěvek: **Material vs. Energy Recovery – An Assessment Using Computational Tools NERUDA and JUSTINE.**

09/2017 – Norsko, Stavanger

NORDIC EDGE EXPO

07/2018 – Česká republika, Praha

WasteEng 2018 – příspěvek: **Waste transportation cost in advanced network flow models**

09/2018 – Slovinsko, Portorož

TBMCE 2018 – příspěvek: **Collection Of Dry Recyclables As An Effective Step In Waste Management?**

11/2018 – Rakousko, Leoben

Recy & DepoTech 2018 – příspěvek: **Waste-to-Energy Role in Circular Economy Concept – Modelling Approach**

Seznam použité literatury

- [1] Waste generation by economic activities and households, 2012 (thousand tonnes). Eurostat Statistics Explained [online]. 2012 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households_2012_\(thousand_tonnes\)_YB15.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households_2012_(thousand_tonnes)_YB15.png)
- [2] Circular Economy. Eurostat Statistics Explained [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/styles/normal-responsive/public/fotolia-petovarga-circular-economy.jpg?itok=mafIdjT>
- [3] Zavíralová L., Šomplák R., Pavlas M., Kropáč J., Popela P., Putna O., Gregor J., 2015, Computational system for simulation and forecasting in waste management incomplete data problems, Chemical Engineering Transactions, 45, 763-768 DOI:10.3303/CET1545128.
- [4] Šomplák R., Pavlas M., Kropáč J., Putna O., Procházka V., 2014, Logistic model-based tool for policy-making towards sustainable waste management, Clean Technologies and Environmental Policy, Volume 16, Issue 7, p. 1275-1286.
- [5] Šomplák R., Touš M., Pavlas M., Gregor J., Popela P., Rychtář A., 2015, Multi-Commodity Network Flow Model Applied to Waste Processing Cost Analysis for Producers Chemical Engineering Transactions, 45, 733-738, DOI: 10.3303/CET1545123.
- [6] GREGOR, Jiří. Komplexní přístup k modelování dopravních nákladů při energetickém využití odpadů. Brno, 2014. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Radovan Šomplák.
- [7] ŠOMPLÁK, Radovan. Efektivní plánování investic do technologií pro energetické využití odpadů. Brno, 2016. Disertační práce. Vedoucí práce Prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
- [8] NEVRLÝ, Vlastimír. Modely a metody pro svozové úlohy. Brno, 2016. Diplomová práce. Vedoucí práce RNDr. Pavel Popela, Ph.D.
- [9] Mahmood Ebadian, Taraneh Sowlati, Shahab Sokhansanj, Mark Stumborg, Lawrence Townley-Smith, A new simulation model for multi-agricultural biomass logistics system in bioenergy production, Biosystems Engineering, Volume 110, Issue 3, November 2011, Pages 280-290, ISSN 1537-5110, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011001449>)

- [10] Xiaoyun Bing, Jacqueline M. Bloemhof, Tania Rodrigues Pereira Ramos, Ana Paula Barbosa-Povoa, Chee Yew Wong, Jack G.A.J. van der Vorst, Research challenges in municipal solid waste logistics management, *Waste Management*, Volume 48, February 2016, Pages 584-592, ISSN 0956-053X,
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302099>)
- [11] Tue R.L. Christensen, Martine Labbé, A branch-cut-and-price algorithm for the piecewise linear transportation problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 245, Issue 3, 16 September 2015, Pages 645-655, ISSN 0377-2217,
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715002611>)
- [12] Jim Groot, Xiaoyun Bing, Hilke Bos-Brouwers, Jacqueline Bloemhof-Ruwaard, A comprehensive waste collection cost model applied to post-consumer plastic packaging waste, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 85, April 2014, Pages 79-87, ISSN 0921-3449, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913002279>)
- [13] JOHNSON, Steven a Daniel MURRAY. Empirical Analysis of Truck and Automobile Speeds on Rural Interstates: Impact of Posted Speed Limits [online]. Arkansas, 2009 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z:
<http://comp.uark.edu/~sjohnson/New%20Folder/SLJ%20Pub%20Paper%2010-0833.pdf>.
University of Arkansas.
- [14] J.G. Rogers, J.G. Brammer, Analysis of transport costs for energy crops for use in biomass pyrolysis plant networks, *Biomass and Bioenergy*, Volume 33, Issue 10, October 2009, Pages 1367-1375, ISSN 0961-9534,
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953409001081>)
- [15] Jim Groot, Xiaoyun Bing, Hilke Bos-Brouwers, Jacqueline Bloemhof-Ruwaard, A comprehensive waste collection cost model applied to post-consumer plastic packaging waste, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 85, April 2014, Pages 79-87, ISSN 0921-3449, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913002279>)
- [16] Victor Fernandez Nascimento, Anahi Chimini Sobral, Pedro R. Andrade, Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, and Nazli Yesiller, "Modeling Environmental Susceptibility of Municipal Solid Waste Disposal Sites: A Case Study in São Paulo State, Brazil," *Journal of Geographic Information System*, vol. 09, no. 01, pp. 8–33, 2017
- [17] GHOSE, M. K., DIKSHIT A. K., SHARMA S. K. (2005) A GIS based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality, *Waste Management* Volume 26, Issue 11, 2006, str. 1287–1293,
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X05002849>)

- [18] Victor Fernandez Nascimento, Anahi Chimini Sobral, Pedro R. Andrade, Jean Pierre Henry Balbaud Ometto, and Nazli Yesiller, "Modeling Environmental Susceptibility of Municipal Solid Waste Disposal Sites: A Case Study in São Paulo State, Brazil," *Journal of Geographic Information System*, vol. 09, no. 01, pp. 8–33, 2017
- [19] ZAMORANO M., MOLERO E., GRINDLAY A., RODRÍGUEZ M. L., HURTADO A., CALVO F. J. (2009) A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: A case of Churriana de la Vega (Granada, Spain), *Resources, Conservation and Recycling* 54 (2009), str. 123–133
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344909001426>)
- [20] Nurano - Teemu Nuortio, Jari Kytöjoki, Harri Niska, Olli Bräysy, Improved route planning and scheduling of waste collection and transport, *Expert Systems with Applications*, Volume 30, Issue 2, February 2006, Pages 223-232, ISSN 0957-4174,
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417405001375>)
- [21] Olomouc - HEISIG J., VOŽENÍLEK V., KOSTKAN V., LACINÁ J., HEKERA P., MAZALOVÁ M., (2010) Prostorové aspekty svozu komunálního odpadu v prostředí GIS, *Univerzita Palackého v Olomouci*, 9 str.
http://www.olomouckekomunal.upol.cz/upload/Priloha%2014_prispevek%20LOGI%202010_prostorove%20aspekty%20svozu%20SKO.pdf
- [22] Le Hoang Son, Amal Louati, Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows, *Waste Management*, Volume 52, June 2016, Pages 34-49, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.041>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16301258>)
- [23] Joaquín Bautista, Elena Fernández, Jordi Pereira, Solving an urban waste collection problem using ants heuristics, *Computers & Operations Research*, Volume 35, Issue 9, September 2008, Pages 3020-3033, ISSN 0305-0548,
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054807000196>)
- [24] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2016 [online]. 2016 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
- [25] EISTED, Rasmus, Thomas H CHRISTENSEN a Anna W LARSEN. Collection, transfer and transport of waste: Accounting of greenhouse gases and global warming contribution. In: . 2009, s. 738-745.

- [26] CHRISTENSEN, Thomas H, Anna W LARSEN, Marko VRGOC a Poul LIEBERKNECHT. Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. In: . 2009.
- [27] Středočeský kraj - Institut pro udržitelný rozvoj měst a obcí, o.p.s. Studie překládací stanice odpadů ve středočeském kraji. 2014.
- [28] Waste Transfer Stations: A Manual for Decision-Making [online]. 2002, , 66 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/r02002.pdf>
- [29] Solid Waste: TRANSPORTATION AND OTHER COST [online]. The University of Tennessee, 2002, 100 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://infohouse.p2ric.org/ref/24/23592.pdf>
- [30] Возможные технические варианты управления твердыми бытовыми отходами в минской области. 2014.
- [31] Возможные схемы финансирования системы обращения с коммунальными ТБО в Минской области. 2014.
- [32] D.W. Edwards, J. Schelling, Municipal Waste Life Cycle Assessment, Process Safety and Environmental Protection, Volume 77, Issue 5, 1999, Pages 259-274, ISSN 0957-5820, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582099708177>)
- [33] VOŠTOVÁ, Věra. Logistika odpadového hospodářství. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04426-1.
- [34] Výsledky pilotního projektu v Uherském Hradišti sledujícím nakládání s bioodpadem. Wwww.biom.cz [online]. 2007 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vysledky-pilotniho-projektu-v-uherskem-hradisti-sledujicim-nakladani-s-bioodpadem>
- [35] Komunální odpad – výsledky projektu SP/2f1/132/08. Dostupné na www: <http://www.komunalniodpad.eu/>
- [36] NEVRLÝ, V.; ŠOMPLÁK, R.; POPELA, P.; PAVLAS, M.; OSIČKA, O.; KŮDELA, J. Heuristic challenges for spatially distributed waste production identification problems. Mendel Journal series, 2016, roč. 2016, č. 1, s. 109-116. ISSN: 1803-3814.
- [37] NEVRLÝ, V.; POPELA, P.; PAVLAS, M.; ŠOMPLÁK, R. Heuristic for generation of waste transportation test networks. Mendel Journal series, 2015, roč. 2015, č. 1, s. 189-194. ISSN: 1803-3814.

- [38] FISCHER, Wolfgang. Neue Wege in der kommunalen Gebiets- und Tourenplanung: UNIVERSITY OF GRAZ. In: . Leoben, 2016.
- [39] Circular Economy: Implementation of the Circular Economy Action Plan [online]. Brussels: European Commission, 2018. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
- [40] ZENKL, Vladimír. Analýza v 1D. ArcREVUE. Praha: ARCDATA PRAHA, 2013(1), 4. ISSN 1211-2135.
- [41] KOUTNÁ, Marie. Transportní systémy v odpadovém hospodářství. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Gregor.
- [42] PETRASOVÁ, Zuzana. Příklady dobré praxe a netradičních systémů sběru odpadů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 68 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Gregor.
- [43] Pneumatic vs. door-to-door waste collection systems in existing urban areas: a comparison of economic performance. Waste management [online]. 2012, 2012(32), 1-10. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1200236X>
- [44] LAMBERT, Frederic. Volvo unveils new all-electric garbage truck with up to 200 km of range [online]. 2018. Dostupné z: <https://electrek.co/2018/05/09/volvo-all-electric-garbage-truck/>
- [45] Přehled emisních norem [online]. 27.09.2018. Dostupné z: <https://www.srovnator.cz/clanky/prehled-emisnich-norem/>
- [46] FERDAN, T. Efektivní využití komunálních odpadů v energetice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 91 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c..
- [47] Statutory vision. Vertical waste transfer station. Green technology. [Online] 2018. <http://www.statvision.com.my/>
- [48] Prohlášení o dráze [online]. Praha: Správa železniční dopravní cesty [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/provozovani-drahy/pristup-na-zdc/prohlaseni-2019.html>
- [49] MýtoCZ: Sazby mýtného. Mytocz [online]. Dostupné z: <http://www.mytocz.eu/cs/mytny-system/sazby-mytneho/index.html>
- [50] Návrh zákona o odpadech a o změně některých zákonů (zákon o odpadech). In: . ročník 2017. Dostupné také z: <http://www.caoh.cz/data/article/zoo-text-zakona-11072016.pdf>
- [51] GREGOR, J.; JANOŠTÁK, F.; PAVLAS M.; ŠOMPLÁK, R. Waste transportation cost in advanced network flow models, Praha, 2018.

- [52] BRANDOS, Otakar. Oceány - největší a nejhlubší. Treking [online]. 2017, 26. 01. 2017. Dostupné z: <https://www.treking.cz/cestovani/oceany.htm>
- [53] Víc plastů než ryb. Zaplnili jsme oceány, mikroplasty pijeme i ve vodě. Aktualne.cz [online]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/more-plastu-grafika-plastovy-odpad-oceany-mikroplasty/r~a9f499305cf611e885e30cc47ab5f122/?redirected=1550427735>
- [54] Moře plastů. Neosaman. 05. 02. 2018. Dostupné z: <https://www.neosaman.cz/2018/more-plastu/>
- [55] SLAT, Boyan. The Ocean Cleanup. 2013. Dostupné z: <https://www.theoceancleanup.com/>
- [56] JEDLIČKOVÁ, K. Využitelnost plastových materiálů z komunálních odpadů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kropáč, Ph.D.
- [57] GREGOR, J.; KROPÁČ, J.; PAVLAS, M. Collection Of Dry Recyclables As An Effective Step In Waste Management?. In 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGIES & BUSINESS MODELS FOR CIRCULAR ECONOMY. Portorož, Slovinsko: University of Maribor Press, 2018. p. 1-10. ISBN: 978-961-286-211-4.
- [58] KROPÁČ, J. Pokročilý výpočtový nástroj pro návrh systému čištění spalín z procesu termického zpracování odpadů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 158 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.

PŘÍLOHA

Příloha č. 1 – silniční doprava, citlivostní analýzy

Příloha č. 2 – manuál softwaru WTP

Příloha č. 3 – železniční doprava, výpočetní koeficienty pro dopravní cesty

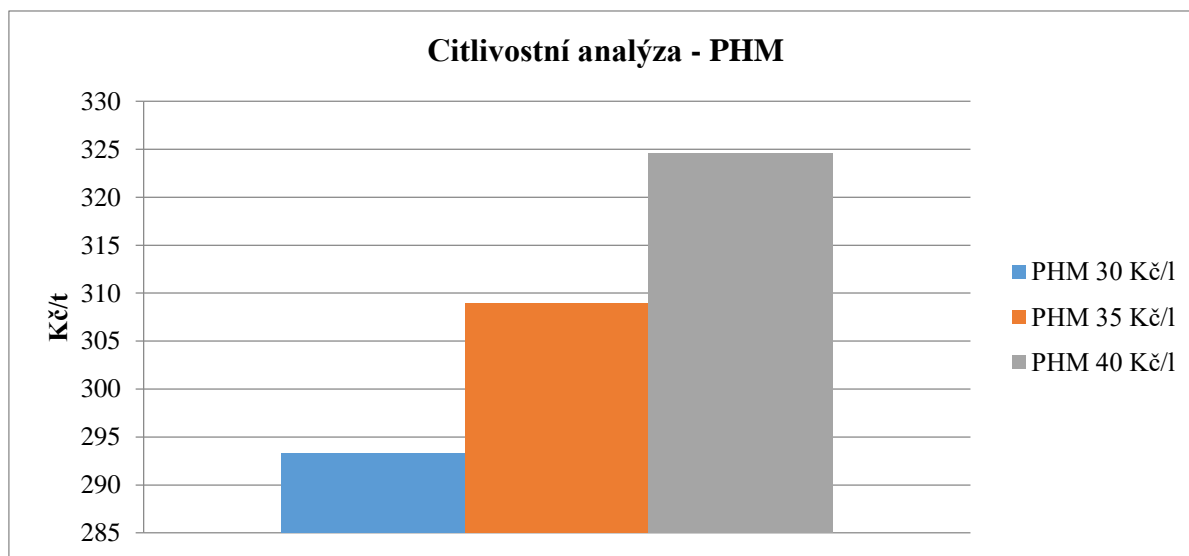
Příloha č. 4 – 3D grafy nákladovosti vybraných vozidel

PŘÍLOHA Č. 1 – Citlivostní analýzy

Citlivostní analýzy pro vývoj nejen cenových faktorů, ale třeba i případných legislativních změn, je nutné z pohledu provozovatele očekávat. Provozovatel by měl mít základní přehled o vývoji určitých parametrů s ohledem na provozní dopad vozových parků. Mezi tyto základní faktory patří nárůst cen pohonných hmot (dále jen „PHM“), ovlivnění mýtným systémem, délka pracovní doby, váhové omezení nebo např. kilometrová amortizace. Tyto uvedené parametry budou prezentovány s ohledem na dopad horších či lepších scénářů tak, aby čtenář byl seznámen co určitá navýšení/omezení udělají z pohledu ceny dopravy 1 t odpadu, resp. celkového vozového parku.

Citlivostní analýza pro PHM byla provedena pro roční kapacitu 30 kt a vybranou vzdálenost 180 km. Cyklus 180 km byl zvolen z důvodu potenciálních simulací z města Olomouc do Brněnského zařízení EVO. V tomto scénáři byly postupně měněny náklady za PHM a to ve třech krocích – 30, 35 a 40 Kč/l. Následně byl proveden přepočít na 1 t, který je nejvhodnější pro demonstraci konkrétních změn – obr. 88.

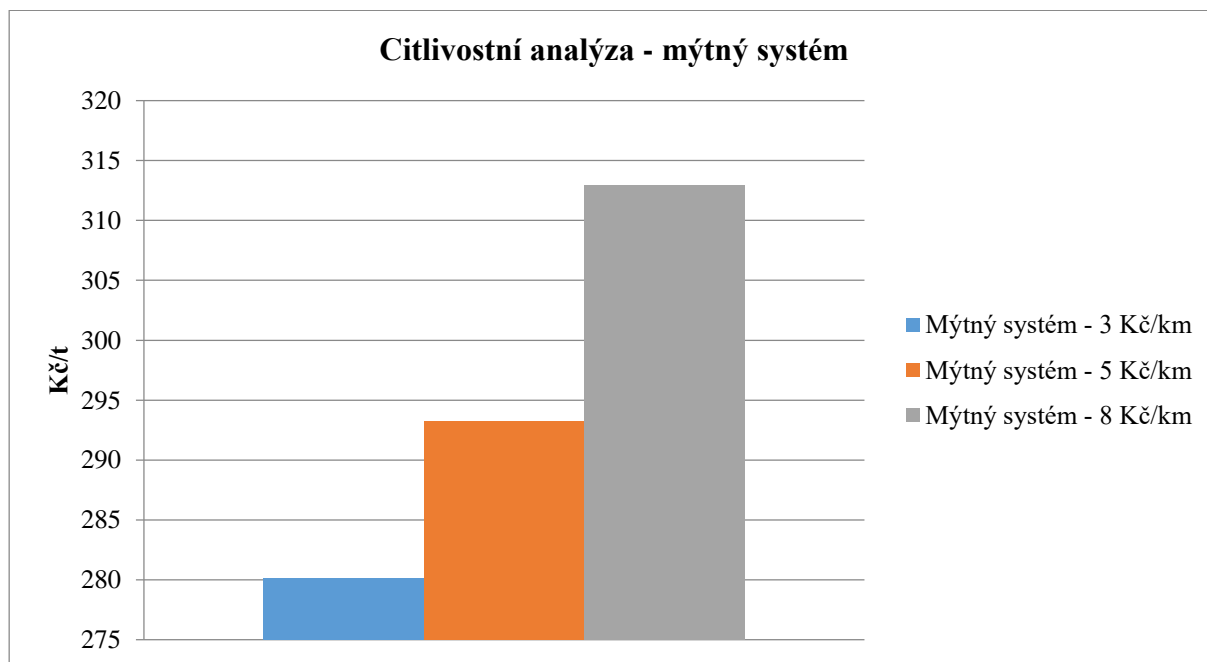
Při ceně PHM 30 Kč/l v uvedeném scénáři je cena přibližně 293 Kč/t a při navýšení PHM na 40 Kč/l je cena přepravy přibližně 325 Kč. Rozdíl ve vybraném scénáři je 30 Kč/t což je poměrně nákladná záležitost z pohledu celkových ročních nákladů. V kontextu ročních nákladů lze uvést zobecnění, při nárůstu PHM o 33 %, se jedná přibližně o 10% vyšší náklady v přepočtu na jednu tunu. Pro uvažovaný příklad dopravy a roční zohlednění je nárůst přibližně o milion korun.



Obr. 88: Citlivostní analýza - PHM

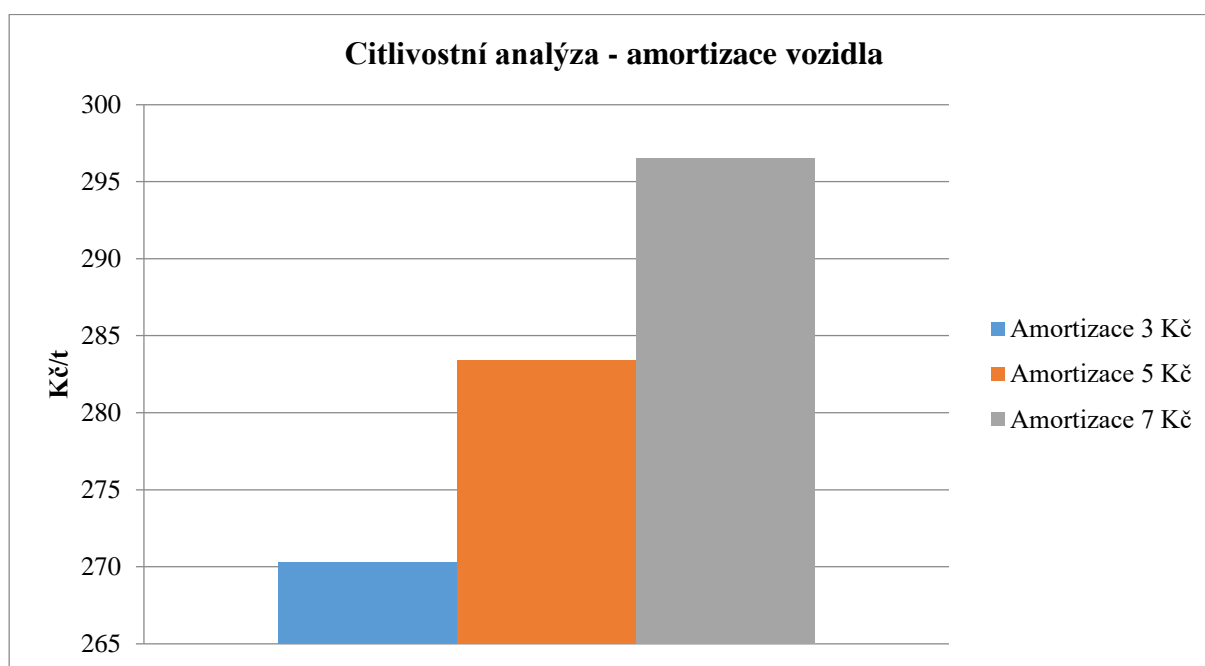
Analogicky se bude objevovat stejná situace v případě mýtného systému, který je chápán jako kilometrový náklad a při přepočtu na 1 t bude rozdílnost následující – obr. 89. Scénář pro mýtný systém je nutné chápat tak, že na celé délce trasy je nutné platit mýtný systém – koeficient nastaven na hodnotě 1. Byly zohledňovány opět tři scénáře a to ve výši mýtného systému 3, 5

a 8 Kč na kilometr. V případě mýtného systému 3 Kč/km se jedná o částku přibližně 280 Kč/t a v případě nejdražšího mýtného systému, tj. 8 Kč se jedná o částku přibližně 313 Kč/t. Rozdílnost je přibližně 33 Kč na jednu tunu odvezeného odpadu, při zohlednění roční kapacity 30 kt. Při navýšení mýtného systému přibližně o 170 %, náklady na odvoz 1 t odpadu se zvýší cca o 11 %.



Obr. 89: Citlivostní analýza – Mýtný systém

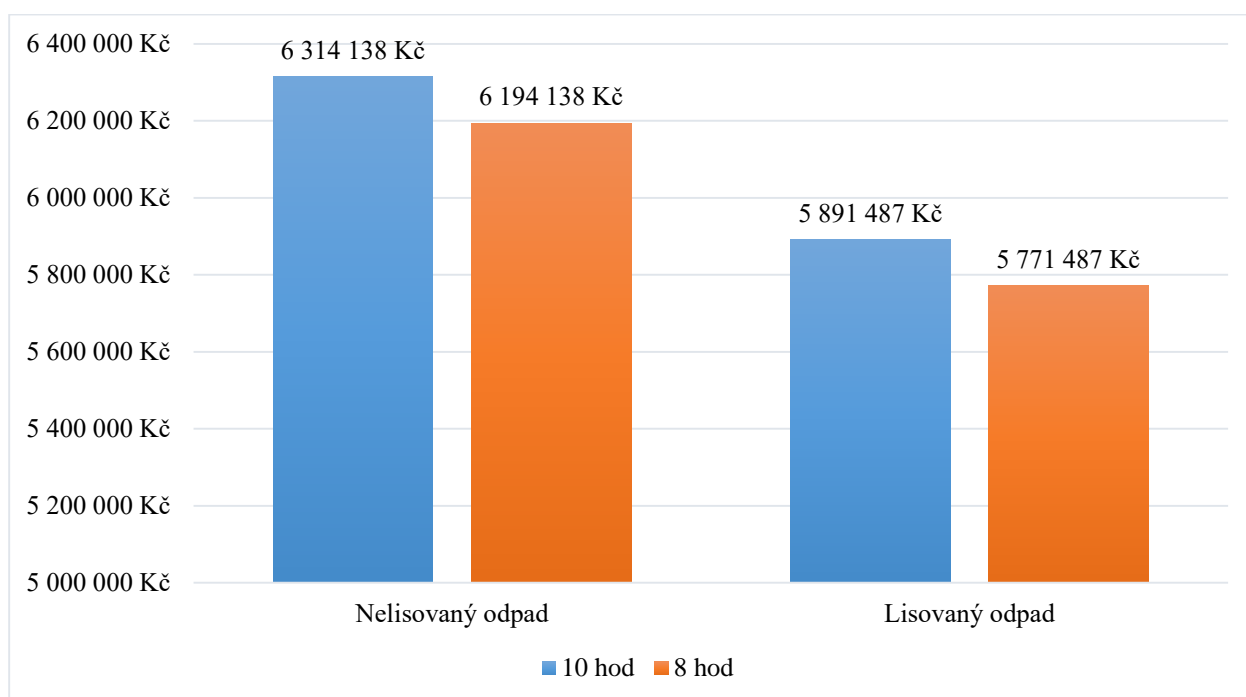
Dále je nutné provést analýzu v závislosti na ujetých kilometrech, která byla nazvána amortizací vozidla. Tedy aby bylo možné simulovat a zohlednit vozidla s větším kilometrovým nájezdem a tento nájezd se určitým způsobem projevil do simulovaných nákladů. Byly provedeny tři scénáře s kilometrovou amortizací 3, 5 a 7 Kč. Rozdílnost nákladů v tomto případě je přibližně 25 Kč na tunu odpadu. Roční kapacita byla uvažována analogicky 30 kt. Citlivostní analýza amortizace vozidla je zobrazena na obr. 90. Při vyčíslení procentuálního vyjádření se jedná o následující formulaci – při navýšení amortizace vozidla od 133 %, zvýší se náklady na odvoz jedné tuny přibližně o 10 %.



Obr. 90: Citlivostní analýza – amortizace vozidla

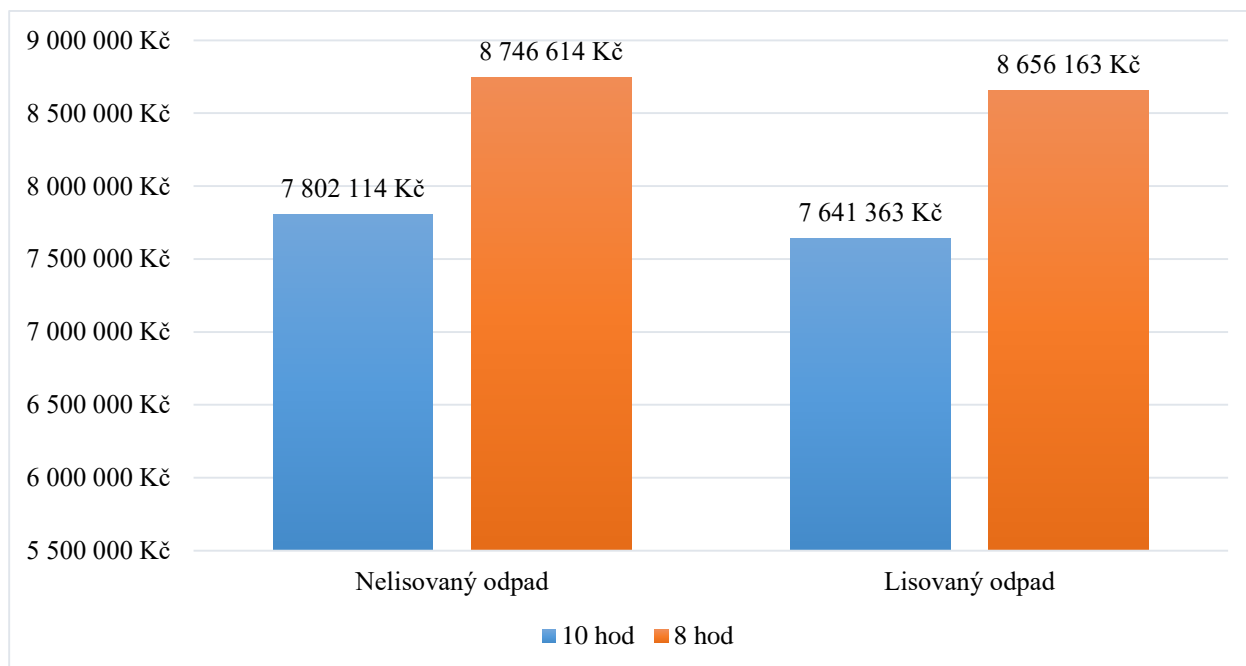
Z výsledných analýz je patrné, že jakékoli navýšení kilometrového nákladů se velmi silně projeví na celkových ročních nákladech za provoz vozového parku. Uvedené scénáře byly charakterizovány pouze společnou roční kapacitou, kilometrovým nákladem a poté krokově zvyšující se požadovanou veličinou.

Dalším velmi důležitým a bohužel nepředvídatelným krokem je vývoj legislativy. Jak je detailně popsáno v kapitole 3.1. zabývající se legislativou je uvedeno Nařízení č. 561/2006. Toto nařízení popisuje nucené přestávky v řízení, denní dobu řízení, která je velmi důležitá při přípravě ekonomických rozvah fiskálních roků konkrétní svozové společnosti. Řidič má omezený počet denních, týdenních a čtrnáctidenních hodin pro řízení. Pro zaměstnavatele toto kritérium přináší několik možností v podobě rozšíření počtu zaměstnanců, vyplácení přesčasů nebo se může jednat o kombinaci uvedeného. Časové hledisko bude velmi důležité především pro případný přeshraniční transport, resp. pro větší nájezdový počet kilometrů. Byl proveden výpočet pro dva různé scénáře, u kterých se odlišně ekonomicky projevila rozšířená pracovní doba. Analýzy byly provedeny jak pro lisovaný, tak nelisovaný odpad s životností automobilu 8 a 10 let a se zvyšujícími se náklady na amortizaci vozidla. Z výsledných analýz bylo zjištěno, že časové hledisko hraje v uvedených scénářích poměrně důležitou roli, proto je nutné časové hledisko neopomínat v rámci vývoje modelů. Výsledné zpracování scénářů s různou roční kapacitou a odlišným nájezdovým počtem kilometrů je patrné z obr. 91 a obr. 92. Analýzy pro relativně krátké dopravní vzdálenosti, které jsou zobrazeny na obr. 91, ukazují negativní dopad rozšíření pracovní doby na celkové roční provozní náklady. Ty jsou vyšší než v případě osmi hodinové pracovní doby. V tomto scénáři se jedná především o nárůst mzdových nákladů v závislosti na částečné nevytíženosti potřebného vozového parku, a tedy desetihodinový provoz je nákladnější o cca 2 % celkových ročních nákladů osmihodinového provozu.



Obr. 91: Porovnání ročních nákladů v rámci rozdílné pracovní doby - Scénář č. 1 - 40 kt/80 km

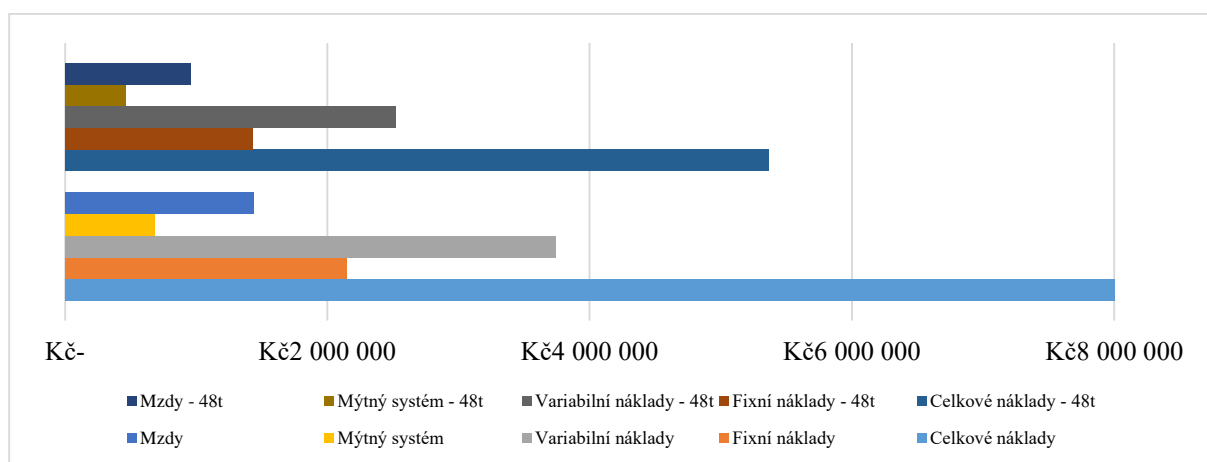
V druhém případě – obr. 92 – se jedná o větší nájezdový počet kilometrů, který se pozitivně projevil na rozšířené pracovní době na deset hodin. Potřebný vozový park je v tomto případě vytíženější a roční úspory dosahují téměř miliónu korun, i na úkor vyšších mzdových nákladů. V případě osmihodinové pracovní doby se jedná přibližně o 13% vyšší roční investici do vozového parku.



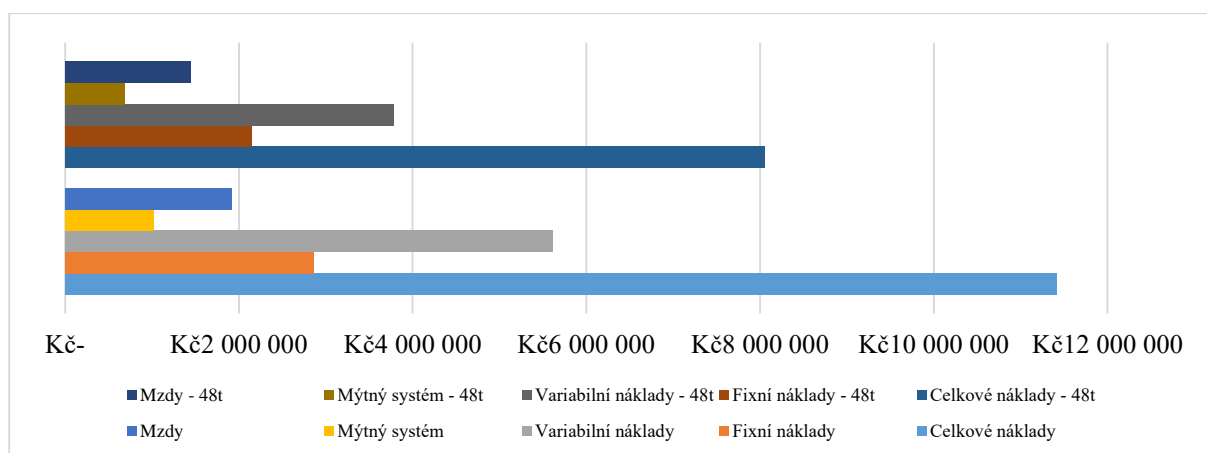
Obr. 92: Porovnání ročních nákladů v rámci rozdílné pracovní doby - Scénář č. 2 - 30 kt/160 km

Výsledky jasně poukazují na roční rozdílnost nákladů v rámci celkového vozového parku, za stanovených podmínek. Z tohoto důvodu je nutné detailněji pracovat s rozvahou o délce pracovní doby a měla by být chápána jako neopomíjený parametr. Parametr délky pracovní doby dle platné legislativy bude zařazen do vyvíjených modelů. Podstatnější rozdíly nastávají v případě dvanácti hodinového pracovní doby.

Následně je nutné neopomenout směrnici č. 96/53, která stanovuje kromě důležitých technických specifikací jízdních souprav, také váhové limity, které hrají velmi důležitou roli v oblasti svozu. Jak je uvedeno v detailním popisu tohoto nařízení, tak pro Českou republiku je platný maximální váhový limit 48 t, který patří k jedněm z nejvyšších v Evropě. Tedy při úvahách svozu odpadu do blízkého příhraničí jako např. Německo s maximálním váhovým limitem 44 t nebo Rakousko s limitem 40 t, je váhové omezení stěžejní parametr a v určitých případech může být limitující. Pro ukázkou byly vybrány dva scénáře pro lisovaný odpad, kdy vozový park dopravuje 40 t a v druhém případě 48 t. Celkovou rozdílnost ročních nákladů lze vidět na Obr. 93 a Obr. 94.



Obr. 93: Rozdílnost ročních nákladů 40t VS 48t - 40 kt/rok - 80km - Lisovaný odpad



Obr. 94: Rozdílnost ročních nákladů 40t VS 48t - 30 kt/rok - 160 km - Lisovaný odpad

Z výsledných analýz lze konstatovat, že váhový limit, tedy množství odvezeného odpadu, je důležité neopomenout a nelze jej jednoduše zanedbat. V případě lisovaného odpadu se jedná o poměrně velké pohotovostní hmotnosti jízdních souprav, které dosahují hmotnosti v rozmezí 23 – 25 t, oproti tomu soupravy pro nelisovaný odpad přibližně 16 t.

PŘÍLOHA Č. 2 – manuál WTP



ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Ústav procesního inženýrství

Uživatelský manuál pro software

Waste Transport Prices

Vypracoval: Ing. Jiří Gregor
Kontakt: jiri.gregor@vutbr.cz

V Brně, červenec 2016

Obsah

Úvod	3
Doporučené systémové požadavky	4
Výpočtový software WTP	5
Popelářský vůz	7
Překládací stanice	9
Nákladní automobil	14
Zadání pro rozsah hodnot	17
Výstupy ze softwaru WTP	18
Problémy	21
Autorská práva	22
Poděkování	23

Seznam obrázků

Obr. 1: Pohled na hlavní okno softwaru WTP	5
Obr. 2: Pohled na hlavní okno s vybranými zájmovými prvky	6
Obr. 3: Okno pro editaci popelářského vozu	7
Obr. 4: Seznam zadaných rychlostních úseků	8
Obr. 5: Tvorba rychlostního úseku	8
Obr. 6: Okno pro editaci překládací stanice – přípravná činnost	9
Obr. 7: Okno pro editaci překládací stanice – oplocení	10
Obr. 8: Okno pro editaci překládací stanice – stav, činnost a tech. zázemí – výběr lis	11
Obr. 9: Okno pro editaci překládací stanice – stav, činnost a techn. zázemí – manipulátor	12
Obr. 10: Okno pro editaci překládací stanice – provoz	13
Obr. 11: Okno pro editaci parametrů nákladního automobilu	14
Obr. 12: Okno pro editaci přípojného vozidla	14
Obr. 13: Okno pro editaci přípojného vozidla – výběr typu přípojného vozidla	15
Obr. 14: Okno pro editaci přípojného vozidla – bez přípojného vozidla	15
Obr. 15: Okno pro editaci kontejneru	16
Obr. 16: Hlavní okno včetně zadávání výpočtu pro rozsah hodnot	17
Obr. 17: Vyčíslení zájmových dopravních prvků pro všechny prvky systému	18
Obr. 18: Výstupy pro rozsahové hodnoty jízdní soupravy	19
Obr. 19: Výstupy pro rozsahové hodnoty popelářského vozu	19
Obr. 20: Výstupy pro rozsahové hodnoty překládací stanice	20
Obr. 21: Chybová zpráva WTP – jízdní souprava, popelářský vůz	21
Obr. 22: Chybová zpráva WTP – překládací stanice	21

Úvod

Předmětný software *Waste Transport Prices* dále jen WTP je dílčím výstupem projektu TE02000236 *Waste to Energy Competence Centre (WtECC)* s označením V007 *Tool for proposal of waste supply chain (from producers to a treatment plant)*.

Tento dokument poskytuje přehledu a rekapituluje základní kroky, jak správně předkládaný software využívat a jak dosáhnout požadovaných výstupů. **Předpokládá se určitá minimální znalost uživatele v dané problematice. Pouze v takovém případě může software poskytnout reálné výstupy.**

Předkládaný software WTP využívá poznatky z řešené problematiky z následujících dílčích cílů a výstupů projektu WtECC:

- DC04.1: Investigation of waste transportation systems with focus on intermodal transport – vytipování nejvhodnějších dopravních řetězců.
- DC04.2: Proposal of transportation limitations based on transportation infrastructure survey – omezení na svozových a odvozových trasách.
- DC04.3: Investigation of abroad experiences with rail transport – popis svozových koridorů a tras pro Evropu a ČR, se základním popisem realizace železniční dopravy v Německu a na cenění železniční dopravy v ČR.
- DC04.4: Investigation of legislation related to across border transport – velmi důležitý dokument pro legislativní omezení dopravních systémů s prioritním zaměřením na silniční dopravu.
- DC04.5: Development of techno-economic models related to waste transport – vývoj jednotlivých modelů důležitých pro celkové řetězce.
- DV26: Transport of waste for energy recovery – vytipování celkového řetězce pro svoz odpadu od producenta ke konečnému zpracování – energetické využití.
- DV28: Study on waste collection area proposal – vytipování potenciální svozové oblasti pro realizaci svozu odpadu za účelem energetického využití.

Software má pro každý vstupní parametr zadán rozsah hodnot, tj. je nastaveno minimum a maximum s určitým počtem desetinných míst. Software je vykázán bez výchozích hodnot.

WTC je šířen v rámci volné licence, která je k dispozici po zaregistrování na stránkách <http://www.upi.fme.vutbr.cz/>.

V případě dotazů či připomínek kontaktujte prosím sekci energetických systémů na našich webových stránkách <http://www.upi.fme.vutbr.cz/sekce/energeticke-systemy-simulacni-vypocty>.

Děkujeme a těšíme se na Vaši zpětnou vazbu.

Doporučené systémové požadavky

1,5 GHz procesor

2 GB RAM

10 MB volného místa na pevném disku

Rozlišení obrazovky 1 024 x 768

Operační systém - Windows XP (POUZE Service Pack 2 nebo 3), Windows Vista, Windows 7, Windows 8 nebo Windows 10

Výpočtový software WTP

Následující text bude popisovat práci a možnou variabilitu softwaru WTP.

Hlavní okno softwaru WTP je zobrazeno na obr. 1. Podle potřeb uživatele lze vybrat zájmové prvky systému, kterými jsou „popelářský vůz“, „překládací stanice“ a „jízdní souprava“.

Obr. 1: Pohled na hlavní okno softwaru WTP

Po vybrání zájmových prvků (v případě obr. 2 jsou vybrány všechny prvky) následuje zadání roční kapacity přepravovaného resp. zpracovaného množství (v případě překládací stanice) v kt/rok, vzdálenosti ke zpracovateli v km (platí pro odvoz z místa A do místa B (celkový cyklus je následně složen z dvojnásobné vzdálenosti) a pracovní doby v h/den.

The screenshot displays the WTP software interface with three main configuration panels:

- Popelářský vůz:**
 - ☒ Zahmot do výpočtu
 - Editovat parametry vozu
 - Kapacita [kt./rok]: 30,0
 - Vzdálenost ke zpracovateli [km]: 12
 - Pracovní doba [hod./den]: 8
 - ☐ Výpočet pro rozsah hodnot
 - Minimální vzdálenost [km]: 1
 - Počet kroků [-]: 10
 - Maximální vzdálenost [km]: 1
 - Délka kroku [km]: 0,0
 - Minimální kapacita [kt./rok]: 0,1
 - Počet kroků [-]: 10
 - Maximální kapacita [kt./rok]: 0,1
 - Délka kroku [kt./rok]: 0,00
 - Typ grafu: bodový
- Překládací stanice:**
 - ☒ Zahmot do výpočtu
 - Editovat parametry stanice
 - Kapacita [kt./rok]: 30,0
 - Pracovní doba [hod./den]: 8
 - ☐ Výpočet pro rozsah hodnot
 - Minimální kapacita [kt./rok]: 0,1
 - Počet kroků [-]: 10
 - Maximální kapacita [kt./rok]: 0,1
 - Délka kroku [kt./rok]: 0,00
 - Typ grafu: bodový
- Jízdní souprava:**
 - ☒ Zahmot do výpočtu
 - Editovat parametry soupravy
 - Kapacita [kt./rok]: 30,0
 - Vzdálenost ke zpracovateli [km]: 81
 - Pracovní doba [hod./den]: 8
 - ☐ Výpočet pro rozsah hodnot
 - Minimální vzdálenost [km]: 1
 - Počet kroků [-]: 10
 - Maximální vzdálenost [km]: 1
 - Délka kroku [km]: 0,0
 - Minimální kapacita [kt./rok]: 0,1
 - Počet kroků [-]: 10
 - Maximální kapacita [kt./rok]: 0,1
 - Délka kroku [kt./rok]: 0,00
 - Typ grafu: bodový

Summary Bar:

Popelářský vůz	Překládací stanice	Jízdní souprava	ZEVO
30,0 kt./rok	30,0 kt./rok	30,0 kt./rok	
12 km	8 hod./den	81 km	
8 hod./den		8 hod./den	

Spust' výpočet

Obr. 2: Pohled na hlavní okno s vybranými zájmovými prvky

Popelářský vůz

Dalším krokem je editace zájmového prvku. Na obr. 3 je zobrazena možná editace popelářského vozu s konkrétními parametry.

Parametry popelářského vozu

Obecné vlastnosti	Provoz	Náklady
Model	Počet pracovních dnů [1/týden]	Poživovací náklady [Kč]
Výška [m]	Počet pracovních týdnů [1/rok]	Náklady: emise [Kč/rok]
Šířka [m]	Způsob nakládky	Náklady: STK [Kč/rok]
Délka [m]	Doba vykládky [min.]	Náklady: pojištění [Kč/rok]
Pohot. hmotnost [kg]	Průměrná rychlost [km/h]	Náklady: silniční daň [Kč/rok]
Užit. hmotnost [kg]	Rychlostní úseky	Náklady: opotřebení [Kč/km]
	Koeficient zdržení [-]	Náklady: ostatní [Kč/rok]
		Náklady: nepřep. [Kč/rok]
		Životnost [rok]
		Správní režie [Kč/rok]
		Provozní režie [Kč/rok]
		Počet řidičů
		Mzda: řidič [Kč/rok]
		Počet prac. obsluhy
		Mzda: obsluha [Kč/rok]

Kontejner

Objem [m ³]	18
Hustota odpadu [kg/m ³]	350
Hmotnost odpadu [kg]	10 500
Systém lisování	
Lisovací poměr [-]	0

Pneumatiky

Typ	205/40 R15
Počet [ks]	6
Náklady [Kč/ks]	7 500
Životnost [km]	100 000

Spotřeba a emise

Emisní třída	EURO V
Průměrná spotřeba [L/100 km]	70,0
Náklady na PHM [Kč/L]	30,00
Spotřeba oleje [% z PHM]	5,0
Mýto [Kč/km]	5,00
Koeficient mýta [%]	70,0

Zavřít

Obr. 3: Okno pro editaci popelářského vozu

Stěžejním parametrem v případě popelářských vozů je zohlednění průměrné rychlosti. Průměrnou rychlost je možné zadat dvěma způsoby.

- Průměrná rychlost na celkově zadaném úseku – položka „Průměrná rychlost“.
- Průměrná rychlost definovaná za pomoci rychlostních úseků – položka „Rychlostní úseky“.

V případě definování rychlostních úseků (obr. 4) dochází k výpočtu průměrné rychlosti ze zadaných úseků bez ohledu na celkovou délku úseku.

The dialog box titled 'Rychlostní úseky' contains a list of three speed segments:

- 0,5 km – 0,0 Kč/km – 35,0 km/h
- 0,3 km – 0,0 Kč/km – 3,0 km/h
- 2,0 km – 5,0 Kč/km – 65,0 km/h

Below the list are five buttons: 'Přidat' (highlighted with a blue border), 'Duplikovat', 'Upravit', 'Odstranit', and 'OK'. At the bottom right is a 'Zrušit' button.

Obr. 4: Seznam zadaných rychlostních úseků

Detailní zadání rychlostních úseků je zobrazeno na obr. 5. V tomto okně lze definovat délky úseků, náklady na mýtný systém a průměrné rychlosti na daném úseku.

The dialog box titled 'Rychlostní úsek' has three input fields with spinners:

- Délka úseku [km]: 0,1
- Náklady na mýtný systém [Kč/km]: 0,0
- Průměrná rychlost jízdy [km/h]: 0,1

At the bottom are 'OK' and 'Zrušit' buttons.

Obr. 5: Tvorba rychlostního úseku

Překládací stanice

Obr. 6 ukazuje zadávací databázi pro překládací stanici spojenou s přípravnou činností.

Přípravná činnost		Inženýrské sítě	
Plocha pozemku [m ²]	5 000	Rozvody elektřiny [m]	0
Cena pozemku [Kč/m ²]	850	Cena rozvodů elektřiny [Kč/m]	790
Geologický průzkum [Kč]	150 000	Elektřina: přípojka atd. [Kč]	30 000
Výpracování projektu [Kč]	100 000	Rozvody plynu [m]	0
Stavební povolení [Kč]	45 000	Cena rozvodů plynu [Kč/m]	1 000
Rekultivace [Kč/m ²]	500	Plyn: přípojka atd. [Kč]	20 000
Reinvestice: PČ [Kč/rok]	5 000	Rozvody vody [m]	0
		Cena rozvodů vody [Kč/m]	500
		Voda: přípojka atd. [Kč]	25 000
		Rozvody kanalizace [m]	0
		Cena rozvodů kanalizace [Kč/m]	470
		Kanalizace: přípojka atd. [Kč]	70 000
		Ostatní [Kč]	50 000
		Reinvestice: IS [Kč/rok]	20 000

Zavřít

Obr. 6: Okno pro editaci překládací stanice – přípravná činnost

Následuje záložka oplocení v databázovém systému překládací stanice (obr. 7).

Parametry překládací stanice

Přípravná činnost **Oplocení** Stavební činnost & technologické zázemí Provoz

Obvod pozemku		Oplocení	
Strana A [m]	100,0	Výška panelů [m]	2,0
Strana B [m]	100,0	Šířka panelů [m]	2,5
Strana C [m]	100,0	Cena panelu [Kč/ks]	650,0
Strana D [m]	100,0	Výška sloupků [m]	3,0
Ostatní		Zinkovaný sloupek A [m]	0,060
Počet závor [ks]	2	Zinkovaný sloupek B [m]	0,020
Cena závory [Kč/ks]	40 000	Rozteč sloupků [m]	2,5
Šířka pojízdné brány [m]	14,0	Cena sloupku [Kč/ks]	300,0
Cena pojízdné brány [Kč]	120 000	Počet objímek [ks/sloupek]	3
Náklady: práce [Kč]	0	Cena objímky [Kč/ks]	55,0
Jiné náklady [Kč]	0	Cena konzole ost. drátu [Kč/ks]	220,0
Bezpečnostní zařízení [Kč]	120 000	Počet pater ostnatého drátu [-]	2
Reinvestice: oplocení [Kč/rok]	15 000	Cena ostnatého drátu [Kč/m]	8,0

Zavřít

Obr. 7: Okno pro editaci překládací stanice – oplocení

Okno popisuje stavební a technologické zázemí v rámci areálu překládací stanice, kde je možné zvolit variantu s lisovacím zařízením či pouze s manipulační technikou, tj. využití lisovacích kontejnerů či nikoli. obr. 8 je relevantní pro variantu s lisovacím systémem (nefunkční zadávání pro manipulační techniku). Obr. 9 je připraven pro variantu s manipulační technikou (nefunkční zadávání pro lisovací systém).

Parametry překládací stanice

Přípravná činnost Oplocení **Stavební činnost & technologické zázemí** Provoz

Stavební činnost

Přijímací hala [Kč]

Rozloha překl. haly [m²]

Překládací hala [Kč/m²]

Reinvestice: hala [Kč/rok]

Vodní hospodářství [Kč]

Studna [Kč]

Propojení vod. hosp. [Kč]

Reinvestice: VH [Kč/rok]

Technologické zázemí

Vážicí systém [Kč]

Prům. hmot. odpadu [t/kont.]

Sypná hmot. odpadu [kg/m³]

☒ Lis

☐ Manipulátor

Lis

Investiční náklady [Kč]

Příkon [kW]

Koef. provozní doby [-]

Počet cyklů [1/kont.]

Délka cyklu [s]

Objem kontejneru [m³]

Velín [Kč]

Reinvestice [Kč/rok]

Systém vým. kontejnerů [Kč]

Reinvestice: SVK [Kč/rok]

Manipulátor

Náklady na PHM [Kč/hod.]

Délka cyklu [s]

Objem lžice [m³]

Pořizovací náklady [Kč]

Reinvestice [Kč/rok]

Životnost [rok]

Zavřít

Obr. 8: Okno pro editaci překládací stanice – stav, činnost a tech. zázemí – výběr lis

Parametry překládací stanice

Přípravná činnost Oplocení **Stavební činnost & technologické zázemí** Provoz

Stavební činnost

Přijímací hala [Kč]

Rozloha překl. haly [m²]

Překládací hala [Kč/m²]

Reinvestice: hala [Kč/rok]

Vodní hospodářství [Kč]

Studna [Kč]

Propojení vod. hosp. [Kč]

Reinvestice: VH [Kč/rok]

Technologické zázemí

Vážicí systém [Kč]

Prům. hmot. odpadu [t/kont.]

Sypná hmot. odpadu [kg/m³]

☐ Lis

☒ Manipulátor

Lis

Investiční náklady [Kč]

Příkon [kW]

Koef. provozní doby [-]

Počet cyklů [1/kont.]

Délka cyklu [s]

Objem kontejneru [m³]

Velín [Kč]

Reinvestice [Kč/rok]

Systém vým. kontejnerů [Kč]

Reinvestice: SVK [Kč/rok]

Manipulátor

Náklady na PHM [Kč/hod.]

Délka cyklu [s]

Objem lžice [m³]

Pořizovací náklady [Kč]

Reinvestice [Kč/rok]

Životnost [rok]

Zavřít

Obr. 9: Okno pro editaci překládací stanice – stav. činnost a techn. zázemí – manipulátor

Poslední záložkou překládací stanice přestavuje provoz – zobrazeno na obr. 10.

Parametry překládací stanice

Přípravná činnost Oplocení **Stavební činnost & technologické zázemí** Provoz

Provoz

Cena elektřiny [Kč/kWh]	3,80
Ostatní spotř. elektřiny [Kč/rok]	60 000
Počet zaměstnanců [-]	3
Mzda zaměstnance [Kč/měs.]	20 000
Počet prac. dnů v týdnu [-]	5
Počet prac. měs. v roce [-]	12
Počet prac. týdnů v roce [-]	52
Provozní režie [Kč/rok]	100 000
Správní režie [Kč/rok]	100 000
Neoček. výdaje [Kč/rok]	150 000
Inflace [%]	3,00
Inflace mezd [%]	4,00
Životnost [rok]	20

Zavřít

Obr. 10: Okno pro editaci překládací stanice – provoz

Nákladní automobil

Zadání vstupních dat pro systém nákladního automobilu je zobrazeno na obr. 11.

Parametry jízdní soupravy

Tahač Přípojné vozidlo

Obecné vlastnosti

Model

Výška [m] 4,00

Šířka [m] 2,50

Délka [m] 8,00

Pohot. hmotnost [kg] 12 000

Užit. hmotnost [kg] 14 000

Pneumatiky

Typ 205/40 R15 Upravit

Počet [ks] 6

Náklady [Kč/ks] 7 500

Životnost [km] 100 000

Provoz

Počet pracovních dnů [1/týden] 5

Počet pracovních týdnů [1/rok] 52

Doba nakládky [min.] 10,0

Doba vykládky [min.] 20,0

Průměrná rychlost [km/h] 60,0

Koeficient zdržení [-] 0,00

Spotřeba a emise

Emisní třída EURO V Upravit třídu

Průměrná spotřeba [L/100 km] 45,0

Náklady na PHM [Kč/L] 30,00

Spotřeba oleje [% z PHM] 5,0

Mýto [Kč/km] 0,00

Koeficient mýta [%] 0,0

Náklady

Pořizovací náklady [Kč] 3 500 000

Náklady: emise [Kč/rok] 5 000

Náklady: STK [Kč/rok] 5 000

Náklady: pojištění [Kč/rok] 20 000

Náklady: silniční daň [Kč/rok] 20 000

Náklady: opotřebení [Kč/km] 5,0

Náklady: ostatní [Kč/rok] 100 000

Náklady: nepředp. [Kč/rok] 100 000

Životnost [rok] 8

Správní režie [Kč/rok] 20 000

Provozní režie [Kč/rok] 20 000

Počet řidičů 1

Mzda: řidič [Kč/rok] 340 000

Zavřít

Obr. 11: Okno pro editaci parametrů nákladního automobilu

Druhou záložkou je přípojné vozidlo, kde dochází k editaci přívěsu, návěsu, jiného přípojného systému, resp. je možné nákladní automobil uvažovat bez přípojného vozidla (viz obr. 12).

Parametry jízdní soupravy

Tahač Přípojné vozidlo

Obecné vlastnosti

Typ dvounápravové

Výška [m] 4,00

Šířka [m] 2,50

Délka [m] 15,00

Ložná výška [m] 1,50

Hmotnost [kg] 3 870

Zatížení jedné nápravy [kg] 7 000

Pneumatiky

Typ 205/40 R15 Upravit

Počet [ks] 6

Náklady [Kč/ks] 6 000

Životnost [km] 100 000

Náklady

Pořizovací náklady [Kč] 800 000

Náklady: STK [Kč/rok] 2 500

Náklady: pojištění [Kč/rok] 15 000

Náklady: silniční daň [Kč/rok] 20 000

Náklady: opotřebení [Kč/km] 2,0

Náklady: servis [Kč/rok] 150 000

Náklady: opravy [Kč/rok] 100 000

Náklady: nepředp. [Kč/rok] 50 000

Životnost [rok] 8

Správní režie [Kč/rok] 5 000

Provozní režie [Kč/rok] 5 000

Kontejnery

30 m³

Přidat Duplikovat

Upravit Odstranit

Zavřít

Obr. 12: Okno pro editaci přípojného vozidla

Pohled na variantní výběr typů přípojných vozidel zobrazuje obr. 13

Parametry jízdní soupravy

Tahač Přípojně vozidlo

Obecné vlastnosti

Typ: dvounápravové
 Výška [m]:
 Šířka [m]:
 Délka [m]:
 Ložná výška [m]:
 Hmotnost [kg]:
 Zatížení jedné nápravy [kg]:

Pneumatiky

Typ: 205/40 R15 Upravit
 Počet [ks]:
 Náklady [Kč/ks]:
 Životnost [km]:

Náklady

Pořizovací náklady [Kč]:
 Náklady: STK [Kč/rok]:
 Náklady: pojištění [Kč/rok]:
 Náklady: silniční daň [Kč/rok]:
 Náklady: opotřebení [Kč/km]:
 Náklady: servis [Kč/rok]:
 Náklady: opravy [Kč/rok]:
 Náklady: nepředp. [Kč/rok]:
 Životnost [rok]:
 Správní režie [Kč/rok]:
 Provozní režie [Kč/rok]:

Kontejnery

30 m³

Přidat Duplikovat
Upravit Odstranit

Zavřít

Obr. 13: Okno pro editaci přípojněho vozidla – výběr typu přípojněho vozidla

V případě, že si uživatel vybere položku bez přípojněho vozidla, dochází pouze k možné editaci kontejneru (obr. 14).

Parametry jízdní soupravy

Tahač Přípojně vozidlo

Obecné vlastnosti

Typ: bez přípojněho voz
 Výška [m]:
 Šířka [m]:
 Délka [m]:
 Ložná výška [m]:
 Hmotnost [kg]:
 Zatížení jedné nápravy [kg]:

Pneumatiky

Typ: 205/40 R15 Upravit
 Počet [ks]:
 Náklady [Kč/ks]:
 Životnost [km]:

Náklady

Pořizovací náklady [Kč]:
 Náklady: STK [Kč/rok]:
 Náklady: pojištění [Kč/rok]:
 Náklady: silniční daň [Kč/rok]:
 Náklady: opotřebení [Kč/km]:
 Náklady: servis [Kč/rok]:
 Náklady: opravy [Kč/rok]:
 Náklady: nepředp. [Kč/rok]:
 Životnost [rok]:
 Správní režie [Kč/rok]:
 Provozní režie [Kč/rok]:

Kontejnery

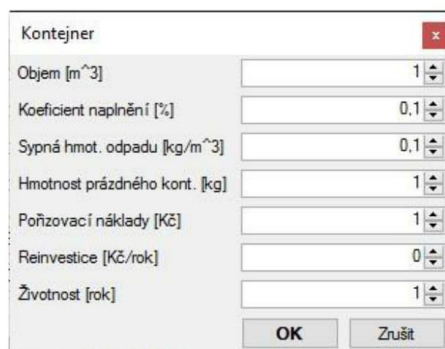
30 m³

Přidat Duplikovat
Upravit Odstranit

Zavřít

Obr. 14: Okno pro editaci přípojněho vozidla – bez přípojněho vozidla

Pro kontejner se zadávají parametry zobrazené na obr. 15. Kontejnery je možné libovolně přidávat, duplikovat, resp. upravovat (viz obr. 14).



The image shows a software dialog box titled "Kontejner" with a red close button in the top right corner. It contains seven input fields, each with a numerical value and a spinner control to its right. The fields and their values are: "Objem [m^3]" with value 1, "Koeficient naplnění [%]" with value 0.1, "Sypná hmot. odpadu [kg/m^3]" with value 0.1, "Hmotnost prázdného kont. [kg]" with value 1, "Pořizovací náklady [Kč]" with value 1, "Reinvestice [Kč/rok]" with value 0, and "Životnost [rok]" with value 1. At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Zrušit" (Cancel).

Parametr	Hodnota
Objem [m ³]	1
Koeficient naplnění [%]	0.1
Sypná hmot. odpadu [kg/m ³]	0.1
Hmotnost prázdného kont. [kg]	1
Pořizovací náklady [Kč]	1
Reinvestice [Kč/rok]	0
Životnost [rok]	1

Obr. 15: Okno pro editaci kontejneru

Zadání pro rozsah hodnot

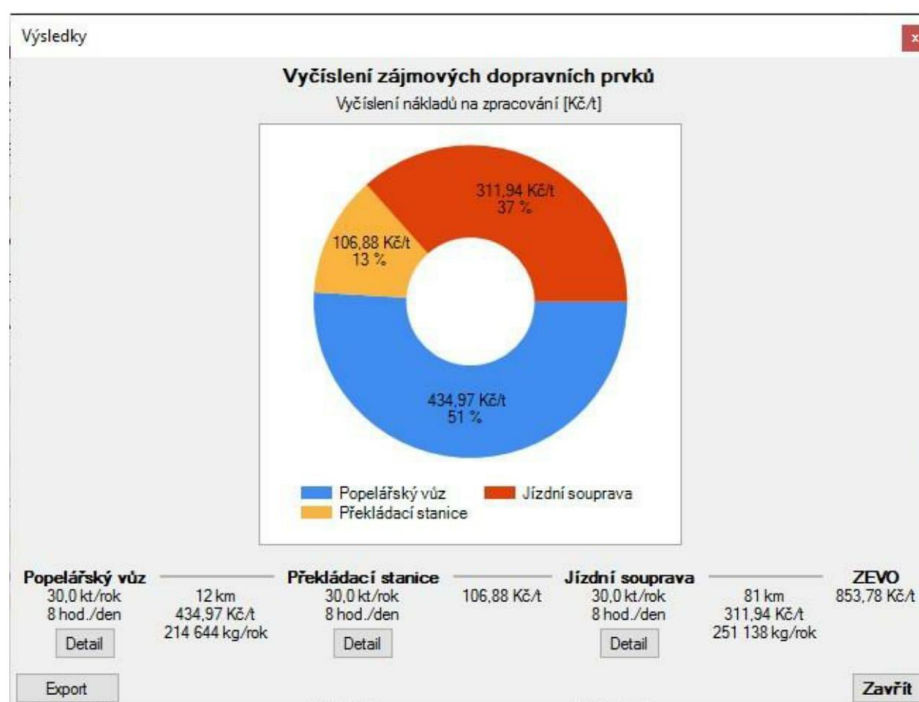
Kromě zadání pro jeden konkrétní scénář je možné zadat i rozsahové hodnoty pro vzdálenost a roční přepravovanou kapacitu (obr. 16).

Parametr	Popelářský vůz	Překládací stanice	Jízdní souprava	ZEVO
Kapacita [kt/rok]	30,0	30,0	30,0	
Vzdálenost ke zpracovateli [km]	12		81	
Pracovní doba [hod./den]	8	8	8	
Minimální vzdálenost [km]	1		1	
Počet kroků [-]	15		100	
Maximální vzdálenost [km]	30		200	
Délka kroku [km]	1,9		2,0	
Minimální kapacita [kt/rok]	2,5	2,5	2,5	
Počet kroků [-]	50	10	10	
Maximální kapacita [kt/rok]	100,0	100,0	100,0	
Délka kroku [kt/rok]	1,95	9,75	9,75	
Typ grafu	spojnicový	spojnicový	spojnicový	

Obr. 16: Hlavní okno včetně zadávání výpočtu pro rozsah hodnot

Výstupy ze softwaru WTP

Základní vyčíslení ekonomiky zájmových dopravních prvků je zobrazeno na obr. 17. Tyto výstupy lze exportovat do .txt souboru za pomoci tlačítka export s cestou C:\users\XXX\documents\XXX.txt. V případě zvolení „detail“ dojde k vyčíslení základních výstupů pro daný prvek – vyčíslení ročních nákladů, nutný počet automobilů, fixní náklady, variabilní náklady a jiné.

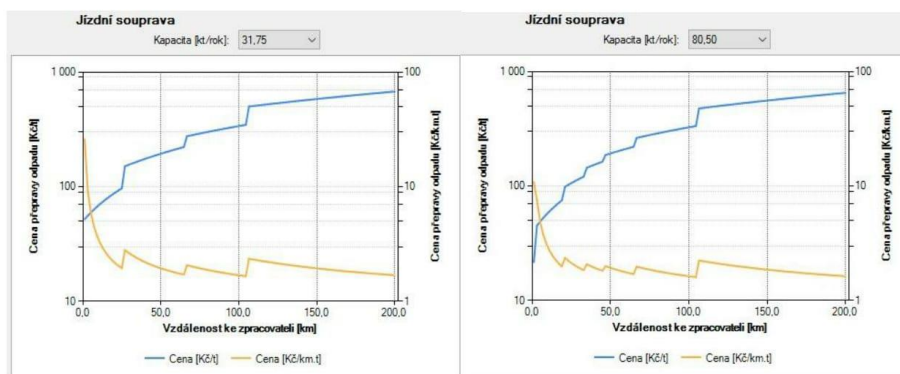


Obr. 17: Vyčíslení zájmových dopravních prvků pro všechny prvky systému

Výsledky mohou být analyzovány také pro konkrétní rozsah vstupních hodnot (přepravovaného množství v závislosti na dopravní vzdálenosti). V takovém případě jsou výsledkem křivky definující :

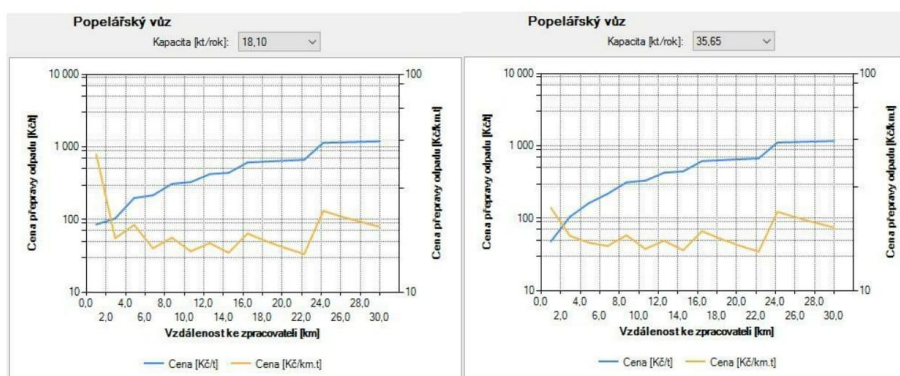
- Náklady Kč/t
- Náklady Kč/km.t

Při výběru požadované kapacity se hodnoty v grafu automaticky přepočítávají. V příkladu na obr. 18. Jsou uvedeny křivky pro jízdní soupravu se dvěma hodnotami roční kapacity 31,75 kt/rok a 80,50 kt/rok – skoky v křivkách představují vyšší či nižší náklady, které jsou spojeny s nutným rozšířením vozového parku.



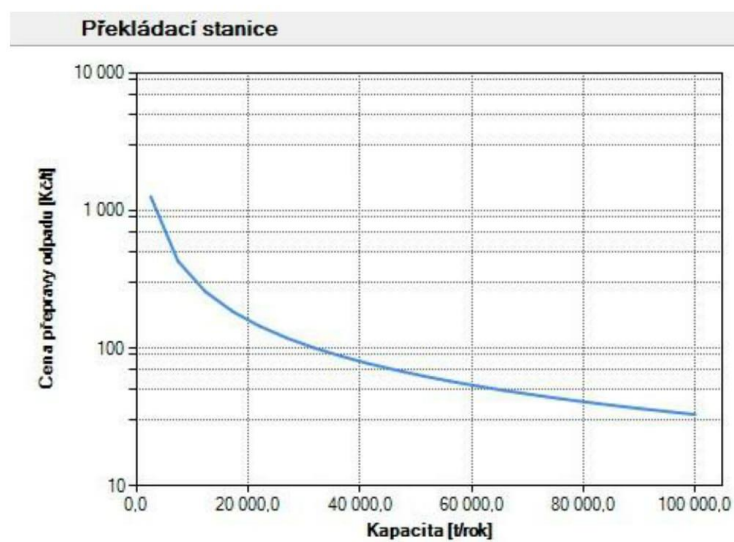
Obr. 18: Výstupy pro rozsahové hodnoty jízdní soupravy

Analogicky jsou vytvořeny výstupy pro popelářský vůz (obr. 19).



Obr. 19: Výstupy pro rozsahové hodnoty popelářského vozu

V případě překládací stanice (obr. 20), je výstupem závislost ceny přeložení na roční zpracovatelské kapacitě překládací stanice – varianta s lisem.



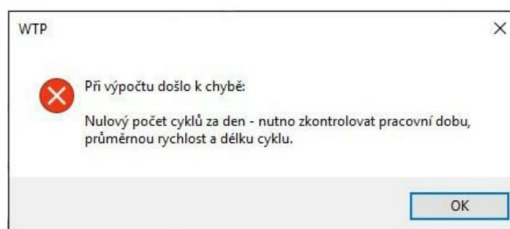
Obr. 20: Výstupy pro rozsahové hodnoty překládací stanice

Problémy

Správná funkce software WTC je ovlivněna správným zadáním stěžejních parametrů do interní databáze.

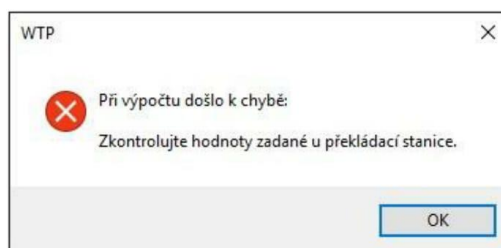
Předpokládá se, že se softwarem pracuje uživatel, který je v této problematice znalý a dochází tedy k výpočtu požadovaných reálných hodnot. Vzhledem k tomu, že WTC je dodáván bez vstupních hodnot, je zcela na uživateli, které hodnoty jsou pro něj zajímavější.

Nejčastější problém nastává při chybném zadání pracovní doby, průměrné rychlosti a délky cyklu. Při chybném zadání, tj. v případě popelářského vozu nebo nákladního automobilu nezvládne daný prvek realizovat jeden denní cyklus (hodnota je např. 0,9 cyklů za den) a objeví se následující chybová zpráva (obr. 21).



Obr. 21: Chybová zpráva WTP – jízdní souprava, popelářský vůz

V případě výpočtu s minimálními, resp. nulovými hodnotami vstupních parametrů může docházet k následující chybové zprávě – obr. 22. Tento problém nastává, v případě chybně zadaného ekonomického parametru u prvku překládací stanice. Je nutné překontrolovat a správně nastavit investiční náklady pro překládací stanici.



Obr. 22: Chybová zpráva WTP – překládací stanice

Autorská práva

Copyright © 2016 – 2020 VUT, všechna práva vyhrazena. Software WTC je majetkem VUT – Ústav procesního inženýrství. Všechny ostatní názvy, značky a případné ochranné známky jsou majetkem příslušných vlastníků.

Tento software je výsledkem práce týmu Ústavu procesního inženýrství, VUT Brno. Software vznikl na základě finanční podpory TAČR v rámci projektu TE02000236 "Waste-to-Energy (WtE) Competence Centre v roce 2016.

WTC je chráněn autorským zákonem ČR a mezinárodními autorskými zákony.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě finanční podpory poskytnuté Technologickou agenturou České republiky v rámci výzkumného projektu č. TE02000236 "Waste-to-Energy (WTE) Competence Centre".

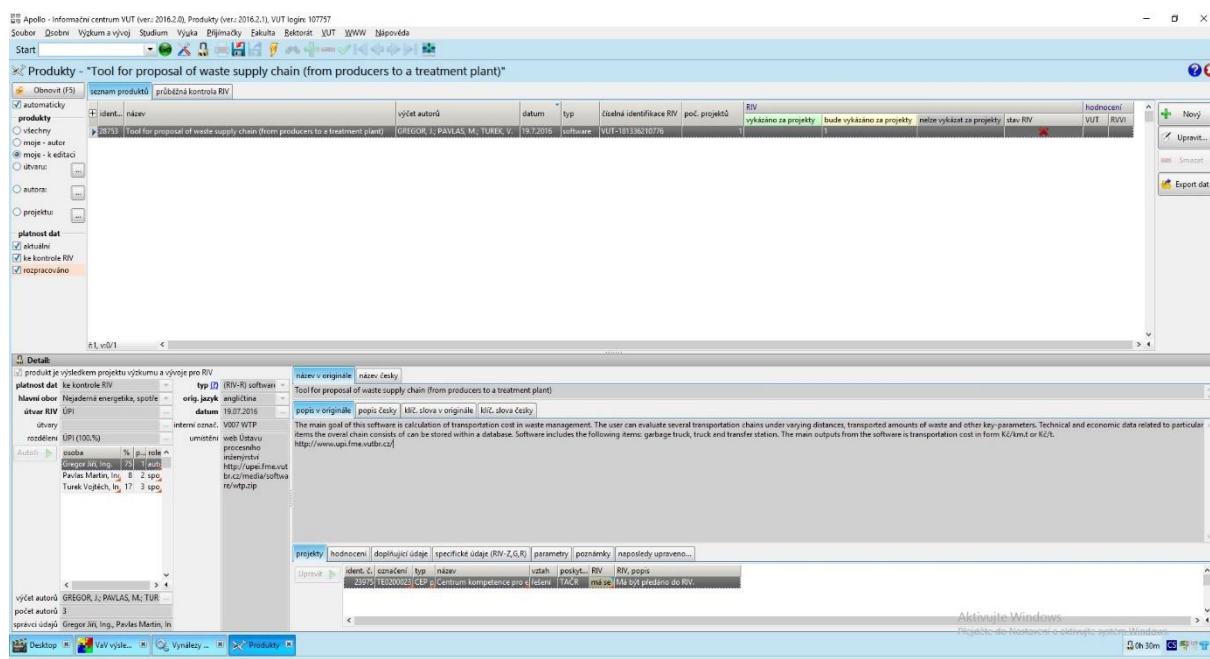
T A

Č R

**Technology
Agency
of the Czech Republic**



Pokročilé modely logistiky v oblasti odpadového hospodářství



PŘÍLOHA Č. 3 – železniční doprava, výpočetní koeficienty pro dopravní cesty³²

Ceny za použití regionální dráhy provozované Advanced World Transport a. s.

Kalkulační vzorec pro výpočet ceny je následující:

$$C = S_1 \cdot L + (Q/1000) \cdot S_2 \cdot L \text{ [Kč]}$$

kde:

$$S_1 = 7,80 \text{ Kč/vlkm}$$

$$S_2 = 0,00 \text{ Kč/1000 hrtnm}$$

L = vzdálenost jízdy vlaku v kilometrech zaokrouhlená na celé kilometry nahoru

Q = hrubá hmotnost vlaku v tunách zjištěná pro vlak nákladní dopravy jako součet hmotností kolejových

vozidel ve vlaku a hmotnosti nákladu v tunách zaokrouhlený na celé tuny nahoru

Ceny za použití regionálních drah provozovaných PDV RAILWAY a. s.

Kalkulační vzorec pro výpočet ceny je následující:

$$C = L \cdot C_{\text{nákladní1}} + L \cdot C_{\text{nákladní2}} \cdot Q/1000 + L \cdot C_{\text{osobní}} + L \cdot C_{\text{lokomotivní}} \text{ [Kč]}$$

kde:

C = konečná cena za použití dráhy jedním vlakem pro sjednanou dopravní cestu

$C_{\text{osobní}} = 6,93 \text{ Kč/vlkm}$, konečná cena za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem osobní dopravy pro sjednanou dopravní cestu vztažená k zajištění provozování dráhy (řízení provozu) a přepočítaná na cenu za 1 vlkm jako podíl ceny za část nákladů na provozování dráhy (řízení provozu)

$C_{\text{lokomotivní}} = 6,93 \text{ Kč/vlkm}$, konečná cena za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem lokomotivním pro sjednanou dopravní cestu vztažená k zajištění provozování dráhy (řízení provozu) a přepočítaná na cenu za 1 vlkm jako podíl ceny za část nákladů na provozování dráhy (řízení provozu)

$C_{\text{nákladní1}} = 36,60 \text{ Kč/vlkm}$, část složky konečné ceny za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem nákladní dopravy pro sjednanou dopravní cestu vztažená k části nákladů za provozování dráhy (řízení provozu) a přepočítaná na cenu za 1 vlkm jako podíl ceny nákladů na provozování dráhy (řízení provozu)

³² Dostupné z dokumentu Prohlášení o dráze

$C_{\text{nákladní}} = 37,00 \text{ Kč}/1000 \text{ hrtkm}$, část složky konečné ceny za použití železniční dopravní cesty jedním vlakem nákladní dopravy pro sjednanou dopravní cestu vztažená k části nákladů na provozování (řízení provozu) a přepočítaná na cenu 1000 hrtkm pro příslušný druh vlaku, daná jako podíl ceny na část nákladů na provozování dráhy (řízení provozu) za tisíc hrubých tunových kilometrů

L = délka tratě projeté vlakem v kilometrech zaokrouhlená na celé kilometry nahoru

Q = hrubá hmotnost vlaku v tunách zjištěná pro vlak nákladní dopravy jako součet hmotnosti kolejových vozidel ve vlaku a hmotnosti nákladu v tunách zaokrouhlený na celé tuny nahoru

Ceny za použití dráhy celostátní a regionálních drah provozovaných Správou železniční dopravní cesty, státní organizací, jízdou vlaku a podmínky jejich uplatnění

Kalkulační vzorec pro výpočet ceny je následující:

$$C_v = \Sigma C_s \text{ [Kč]}$$

$$C_s = L \cdot Z \cdot K \cdot P_x \cdot S_1 \cdot S_2 \text{ [Kč]}$$

kde:

C_v = cena za použití dráhy jízdou vlaku

C_s = cena za použití dráhy jízdou jednoho subvlaku [Kč]

L = délka jízdy subvlaku

Z = základní cena

K = koeficient kategorie tratě

P_x = produktový faktor P_1 až P_5

S_1 a S_2 = specifické faktory

Délka jízdy subvlaku L [km] je pro účely výpočtu ceny za použití dráhy jízdou vlaku stanovena vztažmo k topologickým údajům dopravních bodů, jejichž poloha na trati je v síti KANGO uváděna s přesností na jedno desetinné místo. K ověření mohou dopravci využít aplikaci DYPOD, dostupnou na Portálu provozování dráhy (<http://provoz.szdc.cz/dypod>).

Základní cenou Z [Kč/vlkm] se rozumí cena za jeden vlakový kilometr kalkulovaná v souladu se zásadami uvedenými v kapitole I. Základní cena je shodná pro všechny vlaky. Pro období platnosti tohoto Prohlášení o dráze činí 21,50 Kč/vlkm.

Koeficient kategorie trati K představuje kombinaci činitelů, které po dobu platnosti ročního jízdního řádu ovlivňují kvalitu služeb poskytnutých dopravci na daném traťovém úseku, částečně zohledňují poptávku po přidělení kapacity v daném úseku, náklady vynaložené na údržbu tratí příslušné kategorie v předcházejícím statistickém období, případně vůli

provozovatele dráhy podporovat udržení nebo zvýšení rozsahu objednávané kapacity na tratích dané kategorie. Zařazení tratí do jednotlivých kategorií je výsledkem zhodnocení jejich současného technického stavu, vybavení technickým zařízením a zohlednění poptávky po přidělení kapacity na tratích sítě TEN-T a ostatních tratích. Hodnota koeficientu pro jednotlivé kategorie tratí je uvedena v následující tab. 22.

Tab. 22: Koeficient kategorie tratí

K - koeficient kategorie tratě	
Kategorie	Hodnota
1	1,15
2	1,12
3	1,00
4	0,88
5	0,71

Produktový faktor P_x je činitel, který zohledňuje segmentaci trhu na služby s rozdílnou úrovní cen. Důvodem diferenciací jsou buď přímé náklady vynakládané na danou službu, nebo podpora příslušného segmentu trhu s využitím dofinancování ze státního rozpočtu. V cenovém modelu jsou zavedeny produktové faktory, viz tab. 23:

Tab. 23: Produktové faktory

P_x - produktový faktor		
Faktor	Koeficient	Hodnota
P_1 - osobní doprava	1	1,00
P_2 - nákladní doprava nespécifická	2	1,00
P_3 - nákladní doprava v rámci svozového a rozvozového systému jednotlivých vozových zásilek	3	0,30
P_4 - kombinovaná nákladní doprava	4	0,65
P_5 - nákladní doprava – nestandardní vlaky	5	2,00

Specifický faktor S_x je činitel, jehož účelem je zohlednit v ceně subvlaku jeho složení nebo účinky na opotřebení tratě. Každému subvlaku jsou v kalkulačním vzorci přiřazeny odpovídající hodnoty obou zavedených specifických faktorů. V cenovém modelu jsou zavedeny následující specifické faktory (S_1 a S_2).

S_1 – koeficient opotřebení trati v závislosti na celkové hmotnosti vlaku Tento specifický faktor reflektuje rozdílné opotřebení trati jízdou vlaků o různé hmotnosti. Celkovou hmotností vlaku [t] se rozumí součet hmotností všech vozidel vlaku včetně hmotnosti cestujících nebo nákladu zaokrouhlený na celé tuny nahoru. Hodnoty specifického faktoru jsou stanoveny pro daná rozmezí celkové hmotnosti vlaku, viz tab. 24.

Tab. 24: Míra opotřebení vlaku

S ₁ - míra opotřebení trati				
Hmotnost			Hodnota	Interval
Interval	od	do		
0 - 49 t	0	49	0,42	0 - 49 t
50 - 99 t	50	99	0,49	50 - 99 t
100 - 199 t	100	199	0,59	100 - 199 t
200 - 299 t	200	299	0,76	200 - 299 t
300 - 399 t	300	399	0,94	300 - 399 t
400 - 499 t	400	499	1,14	400 - 499 t
500 - 599 t	500	599	1,34	500 - 599 t
600 - 699 t	600	699	1,50	600 - 699 t
700 - 799 t	700	799	1,76	700 - 799 t
800 - 899 t	800	899	2,03	800 - 899 t
900 - 999 t	900	999	2,31	900 - 999 t
1 000 - 1 199 t	1 000	1 199	2,77	1 000 - 1 199 t
1 200 - 1 399 t	1 200	1 399	3,36	1 200 - 1 399 t
1 400 - 1 599 t	1 400	1 599	3,88	1 400 - 1 599 t
1 600 - 1 799 t	1 600	1 799	4,36	1 600 - 1 799 t
1 800 - 1 999 t	1 800	1 999	4,89	1 800 - 1 999 t
2 000 - 2 199 t	2 000	2 199	5,37	2 000 - 2 199 t
2 200 - 2 399 t	2 200	2 399	5,92	2 200 - 2 399 t
2 400 - 2 599 t	2 400	2 599	6,39	2 400 - 2 599 t
2 600 - 2 799 t	2 600	2 799	6,88	2 600 - 2 799 t
2 800 - 2 999 t	2 800	2 999	7,30	2 800 - 2 999 t
nad 3 000 t	3 000	10 000	8,35	nad 3 000 t

S₂ – koeficient vybavenosti činného hnacího vozidla ve vlaku zabezpečovacím zařízením ETCS úrovně 2 nebo vyšší, viz tab. 25

Tab. 25: Vybavenost hnacího vozidla ETCS úrovně 2 a vyšší

Vybavenost hnacího vozidla ETCS úrovně 2 a vyšší		
ECTS	TE Koeficient	Hodnota specifického faktoru
Vybavené hnací vozidlo	1	0,95
Nevybavené hnací vozidlo	2	1,00

Výpočet sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu

$$S = M_x \cdot (L_1 \cdot N_1 + L_2 \cdot N_2 + L_3 \cdot N_3 + L_4 \cdot N_4 + L_5 \cdot N_5) [Kč]$$

kde:

S = výsledná výše sankce za nevyužitou nebo odřeknutou kapacitu

M_x = motivační koeficient

L_x = délka trasy vlaku podle jednotlivých kategorií dráhy

N_x = sazba sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu

Současně v Prohlášení 2020 jsou aktualizovány sankce za odřeknutou kapacitu. Jedná se o přidělenou kapacitu železniční soupravy na dopravní cestě, která je předem objednaná a zaplacená. V případě že dopravce tuto kapacitu nevyužije, je nutné uhradit sankční poplatek. Poplatky jsou zobrazeny tab. 26.

Tab. 26: Sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu

Sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu		
Přiřazení	Sazba	Kč/vlkm
Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 1	N1	7,00
Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 2	N2	7,00
Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 3	N3	7,00
Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 4	N4	6,40
Osobní a nákladní doprava, kategorie trati 5	N5	5,00

Motivační koeficienty sankce za nevyužitou nebo odřeknutou přidělenou kapacitu jsou zobrazeny v tab. 27.

Tab. 27: Motivační koeficienty sankce za nevyužitou nebo odřeknutou kapacitu

Motivační koeficienty sankce za nevyužitou nebo odřeknutou kapacitu		
Termín pro odřeknutí kapacity	Koeficient	Hodnota
30 a více dní před jízdou	M1	0,00
Méně než 30, ale 7 a více dní před jízdou	M2	0,25
Méně než 7, ale 3 a více dní před jízdou	M3	0,50
Méně než 3 dny před jízdou	M4	1,00

10.4.1.1 BONUS ZA VOZY MODERNIZOVANÉ ZA ÚCELEM SNIŽOVÁNÍ EMISÍ HLUKU

V souladu s prováděcím nařízením Evropské komise (EU) 2015/429 ze dne 13. března 2015 přiznává SŽDC pro období jízdního řádu 2020 dopravcům bonus za použití nákladních vozů modernizovaných za účelem snižování emisí hluku ve výši 0,10 Kč za nápravu a ujetý kilometr [nprkm]. Výpočet bonusu bude prováděn z výkonů realizovaných od 1. ledna 2020.

Bonus za použití modernizovaných vozů je kalkulován podle následujícího vzorce:

$$B_{EH} = \Sigma B_{EHV}$$

$$B_{EHV} = N_v \cdot L \cdot 0,10$$

kde:

B_{EH} = výše bonusu pro dopravce za použití modernizovaných vozů ve všech jeho vlacích, které jely ve sledovaném období [Kč]

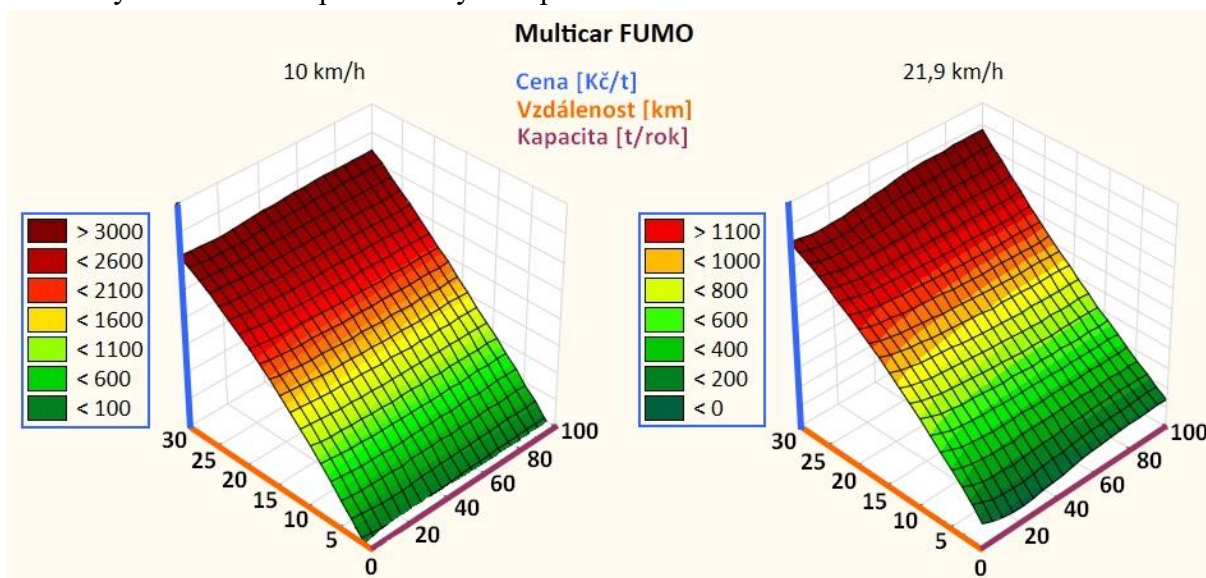
B_{EHV} = výše bonusu za použití modernizovaných vozů v jednom subvlaku [Kč]

N_v = součet počtů náprav všech modernizovaných vozů zjištěných informačním systémem v subvlaku [nápravy]

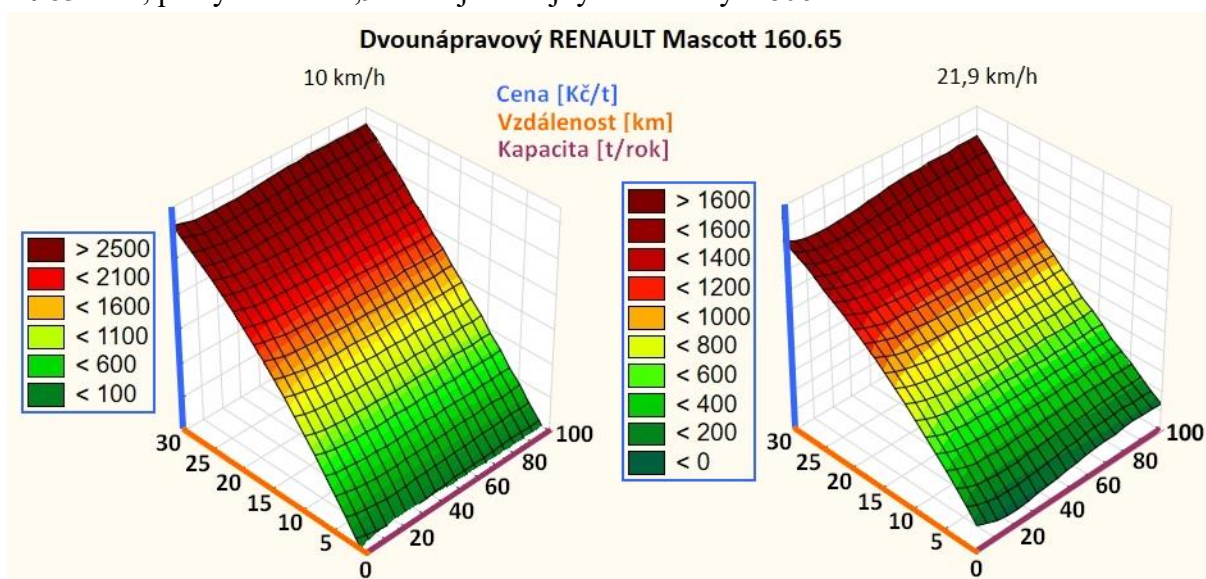
L = délka jízdy subvlaku [km]

PŘÍLOHA Č. 4 – 3D grafy nákladovosti vybraných vozidel, stručné shrnutí z BP [41]

Nákladnost provozu vozidel RENAULT Mascott a MULTICAR Fumo vykazuje podobný trend i hodnoty ve velké části posuzovaných kapacit a vzdáleností.



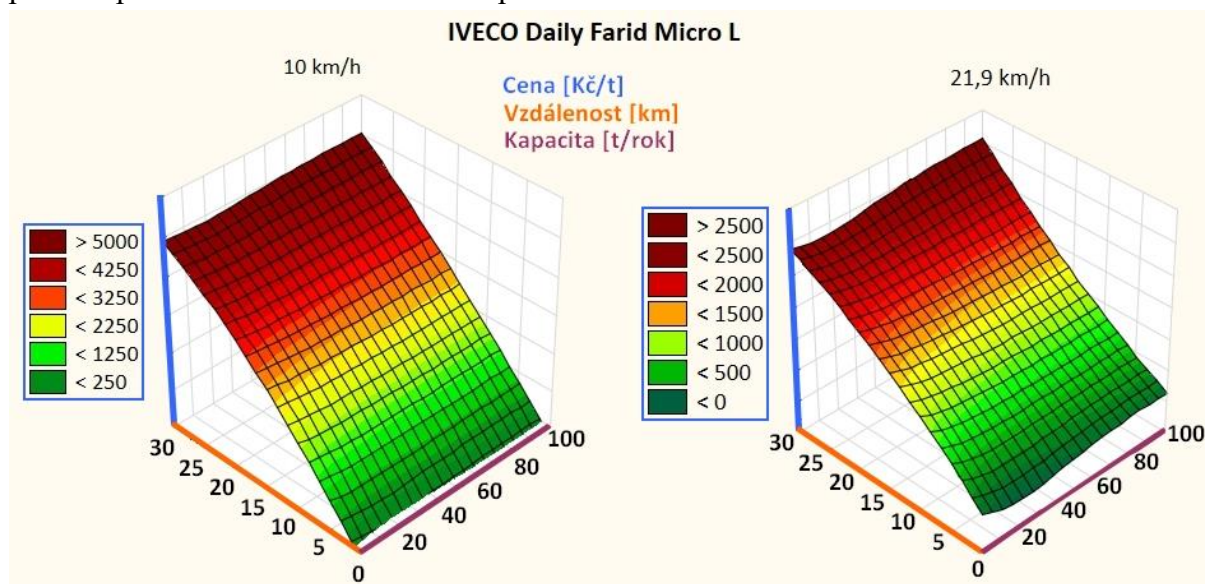
Maximální hodnota nákladů, které vozidlo Multicar při rychlosti 10 km/h dosahuje, je 2 983 Kč/t, při rychlosti 21,9 km/h jsou nejvyšší náklady 1 806 Kč/t.



Nejvyšší náklady, kterých vozidlo Renault při rychlosti 10 km/h dosahuje, je 3 089 Kč/t, při rychlosti 21,9 km/h jsou maximální náklady 1 912 Kč/t. Obě auta dosahují maximálních nákladů při nízkých přepravních kapacitách, kdy nejsou využívána adekvátně svému potenciálu.

Jednoznačně **nejnákladněji** vychází provoz vozidla IVECO Daily. Nejvyšší náklady jsou 4 862 Kč/t, což je zapříčiněné vyšší pořizovací cenou i servisními náklady. Rozdíl není

vykompenzován ani tím, že vozidlo je jako jediné v této kategorii vybaveno lineárním lisem a převezze potenciálně větší množství odpadu.

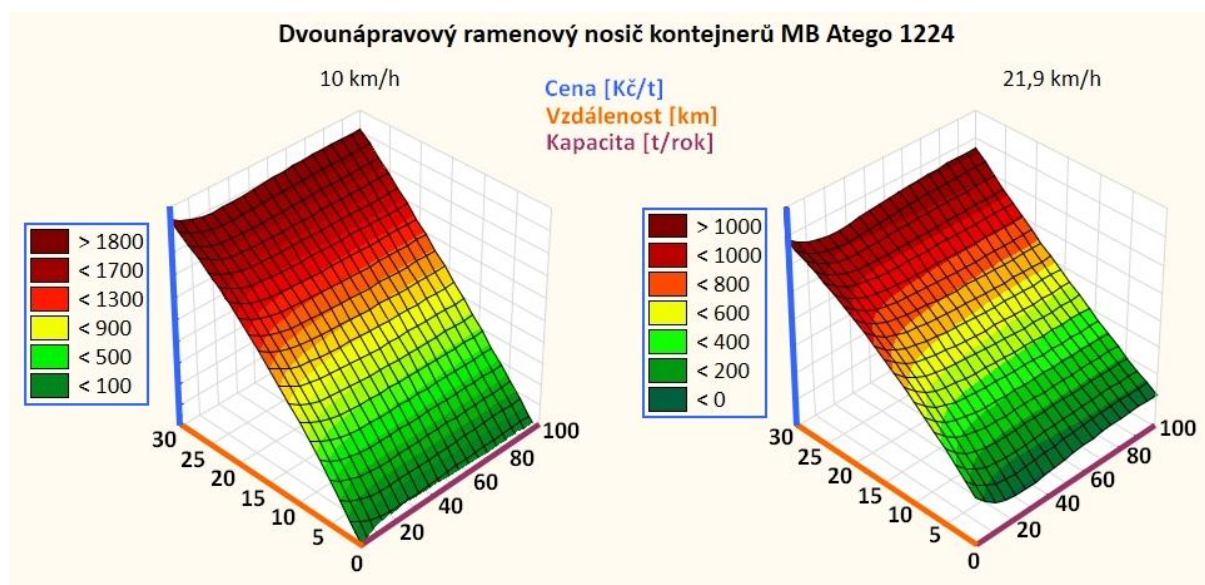


U malých svozových systémů je trend růstu nákladů poměrně rovnoměrný, parametr kapacity nemá velký vliv na růst, či pokles nákladů, pokud se nepohybujeme v okrajových (především nízkých) hodnotách. Zvýšení přepravní rychlosti má zásadní pozitivní vliv na pokles nákladů. Je to zapříčiněno tím, že při vyšších rychlostech je možné přepravit více odpadu, případně zbývá více času na alternativní využití vozu.

Další společnou charakteristikou všech vozidel je, že **při vyšších ujetých vzdálenostech náklady výrazně rostou**, což je způsobeno nízkou svozovou rychlostí. Tento jev lze zdůvodnit nižší kapacitou vozidel, která se používají pro obsluhu špatně přístupných lokací. Malá vozidla je tedy vhodné využívat pouze v případě obsluhy velmi krátkých tras, anebo v případě nutnosti, tj. v místech, kde větší vozidla neprojedou nebo je potřeba obsloužit velmi malé nádoby. Také je žádoucí a ekonomicky efektivní do řetězce včas zařadit článek překládky. K výsypu do větších vozidel jsou dobře uzpůsobena vozidla s nástavbami Farid Micro. Snadnost obsluhy ale pravděpodobně nevykompenzuje zvýšené náklady oproti druhým vytipovaným vozidlům. U čtveřice středně velkých vozidel jsou výsledky více různorodé nežli u vozidel malých.

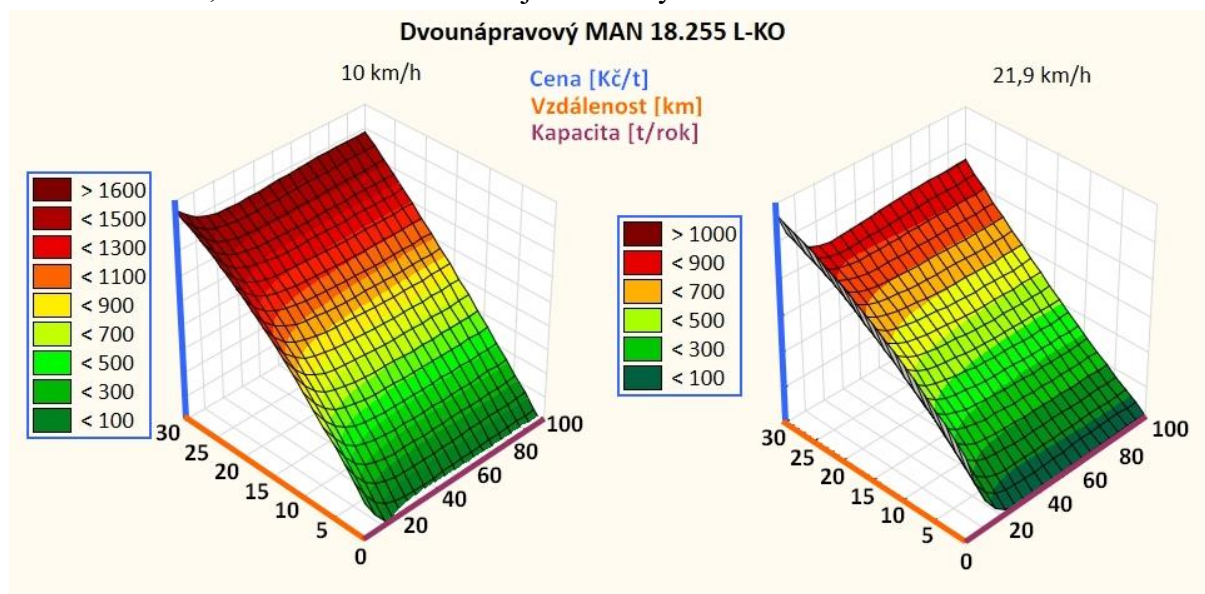
Ač ramenový nosič kontejnerů MB Atego svými rozměry a hmotností patří jednoznačně do kategorie vozidel středně velkých, kapacita vanového kontejneru jej řadí spíše mezi vozidla malých rozměrů. Oproti malým svozovým systémům je zřejmý méně patrný rozdíl nákladů při zvýšení rychlosti³³. Náklady výrazně vzrostou při delší vzdálenosti než u malých vozidel, celkový vzhled grafu je však velmi podobný na trojici předešlých vozidel.

³³ Maximální náklady při rychlosti 10 km/h jsou 2015 Kč/t a při rychlosti 21,9 km/h 1295 Kč/t.

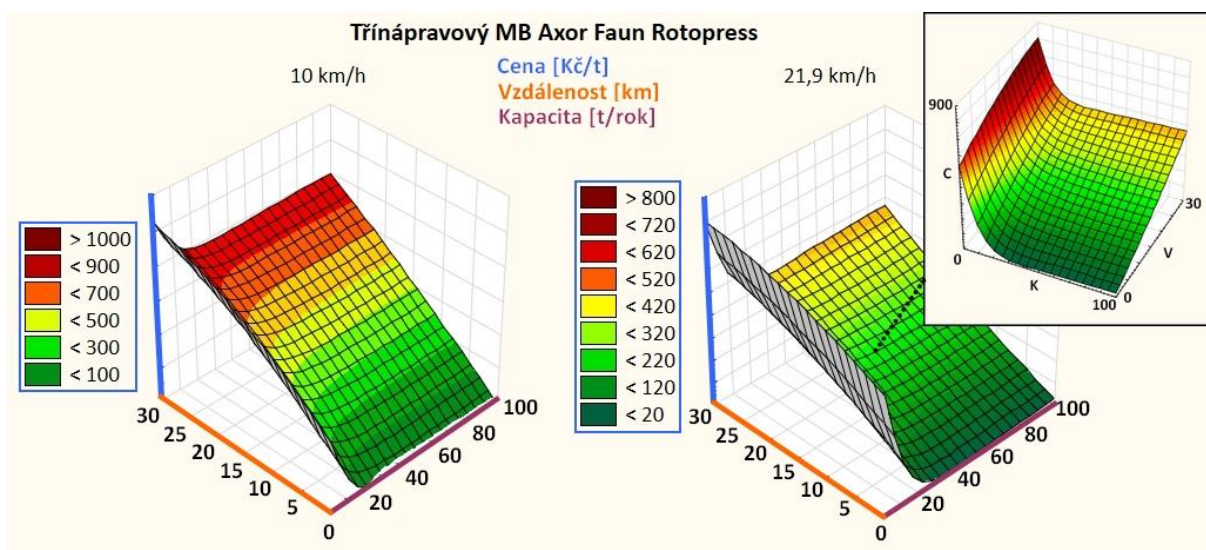


Charakteristika zbývajících tří vozidel vybavených lisovacím systémem se od malých vozidel výrazně liší. U všech je zřejmý strmý pokles nákladů při zvyšování hmotnosti přepravovaného odpadu – do určitého bodu zlomu, po němž následuje ustálení. Příčinou je nedostatečná vytíženost vozidel při přepravě nízkých kapacit.

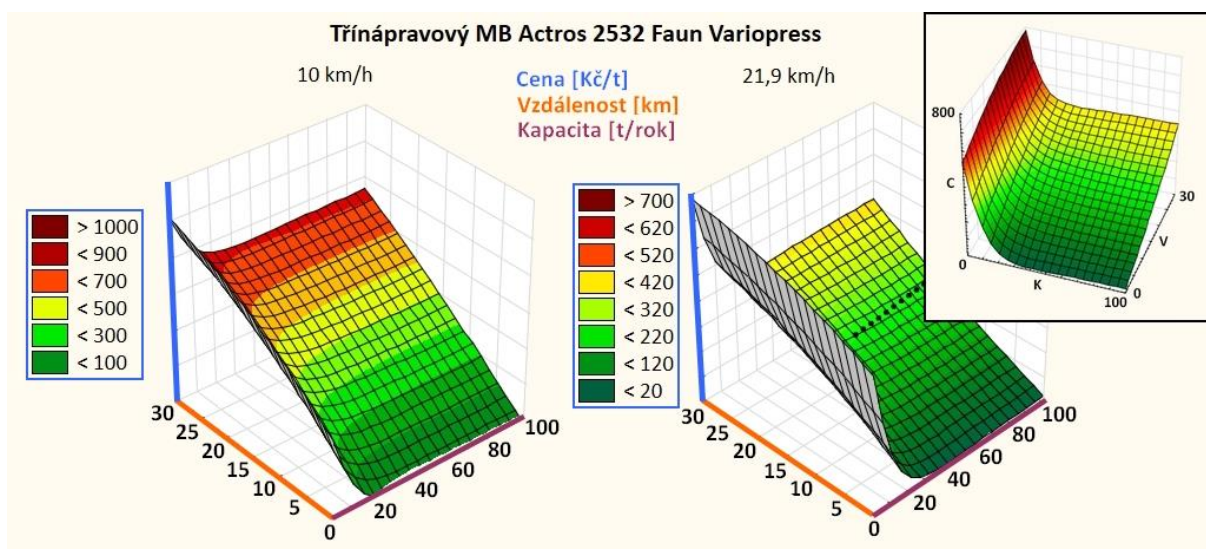
V případě druhého dvounápravového vozidla MAN 18.255 L-KO se již charakter grafu mění a je zřejmé, že pro ekonomicky výhodný provoz je nutné dosáhnout jisté minimální přepravované kapacity. Při nízkých objemech náklady rostou. I zde má zvýšení rychlosti výrazný vliv na snížení nákladů, ale není už tak zásadní jako u malých vozidel.



Vliv přepravované kapacity je ještě významnější u dvojice třínápravových vozů. Při městské rychlosti 21,9 km/h náklady pod zlomovou kapacitou dosahují i více než dvojnásobku hodnot po dosažení bodu zlomu (ten se v obou případech pohybuje kolem 30 kt).



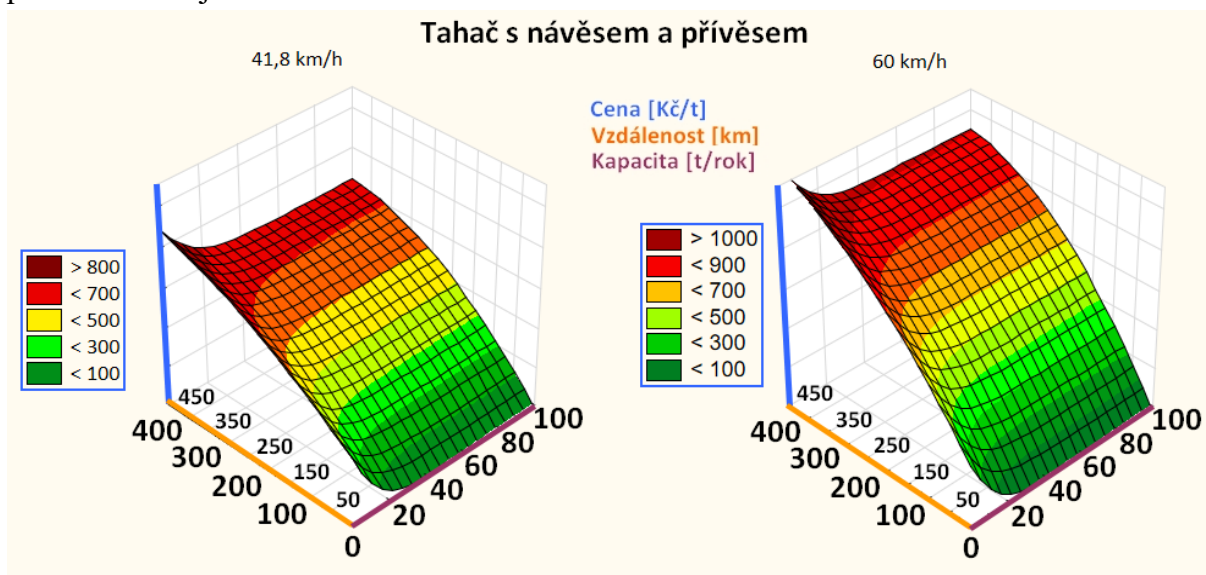
Lze říct, že grafy provozu jak vozidla s rotačním systémem lisování (Rotopress), tak se systémem lineárního lisování si jsou velmi podobné a v extrémních hodnotách se liší zanedbatelně. Provoz vozidla MB Axor je celkově nepatrně nákladnější.



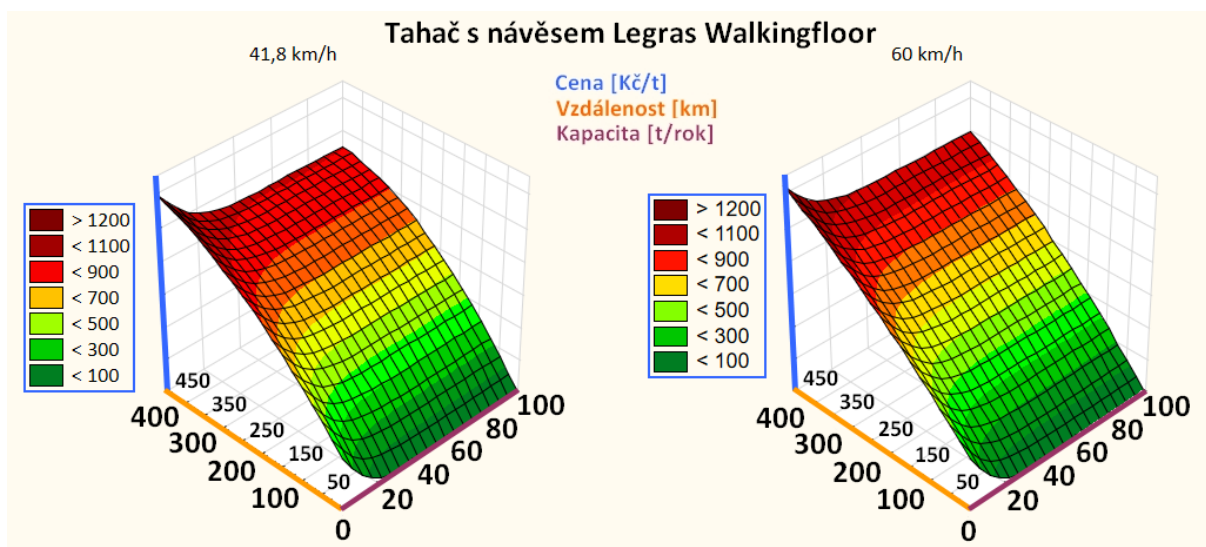
Náklady na třínápravová auta jsou obecně nižší než na dvounápravová. Pravděpodobným vysvětlením jsou jejich vyšší užitné hmotnosti. Díky nim lze dosáhnout vyšších kapacit při vstupních nákladech, které se oproti dvounápravovým vozům zásadně neliší.

Z výše uvedeného vyplývá, že jako výhodnější varianta vychází volba vozidel s většími kapacitami. Pokud jsou využívána pro přepravu 30 000 tun a více odpadu ročně, náklady jsou jednoznačně nejnižší, pohybují se v řádech stovek korun. U velmi nízkých vzdáleností (přibližně do 3 km) lze dosáhnout nákladů kolem 100 Kč/t, při krajně vysokých vzdálenostech (kolem 30 km) se náklady na tunu blíží tisícikoruně.

Analýza ukázala, že při vyšších rychlosti je nákladovost provozu soupravy s návěsem a přívěsem levnější.



I v případě použití nástavby Walkingfloor dochází ke vzrůstu nákladů při vyšší průměrné rychlosti, avšak rozdíl je méně znatelný, než u první soupravy.



Náklady na velké odvozové systémy jsou díky vysokým kapacitám při srovnatelných vzdálenostech výrazně nižší, než u vozidel svozových (při rychlosti 30 km/h mnohdy nižší než 100 Kč/t). Opět platí, že je nutné dosáhnout určité minimální kapacity, aby nákladovost byla ustálenější. Pozitivní vliv na pokles ceny má i větší odvozová vzdálenost. V případě velmi dlouhých vzdáleností však nelze kalkulovat pouze s cenou přepravy. V potaz je třeba vzít například i environmentální dopady a časová hlediska. Je vidět, že na delších trasách je vždy na místě do řetězce začlenit překládku. Samozřejmě je nutné uvažovat i náklady spojené s provozem překládací stanice.